HYDROGEOCOL ENVIRONMENT

INGENIEROS GEÓLOGOS CONSULTORES ESPECIALISTAS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS E HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA CONTINÚA PARA LA EVALUACIÓN DE ZONAS POTENCIALMENTE ACUÍFERAS (RED DE MONITOREO) EN MINERA PANAMÁ, VERSIÓN 2.

PROYECTO MINA COBRE PANAMA

Cliente MINERA PANAMA S.A
Código IF-197-01-2020 V2

Diciembre 2020

Torre Banco Delta, Ofic 504 Piso 5, Calle Elvira Mendez y Via España, Ciudad de Panamá, Panamá - (507) 2033121 / (507) 64311826 - hydrogeocol_env@hidrogeocol.com.pa

INDICE DE MODIFICACIONES

VERSIÓN REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0	Todo el documento	Enero 2020	Documento Original
1	5 – 6 – 8	01 junio 2020	Se realiza un análisis a mayor profundidad, teniendo en cuenta los resultados enviados por Minera Panamá. Referentes al informe de perforación y construcción de pozos de monitoreo del área minera.
2	5 – 6 – 7 – 8	05 Diciembre 2020	Se realiza el análisis de las 7 líneas pendientes de ejecución.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN **1**

1. OBJETIVO GENERAL **3**

1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS: 3
1.2 ALCANCE 3
1.3 LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 4

2. CARÁCTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO **6**

2.1 BOSQUEJO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO 6
2.2 SINTESÍS HIDROLÓGICA 9

3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA CONTINUA **14**

4 EJECUCIÓN DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA CONTINUA **17**

5 INTERPRETACION DE LAS LÍNEAS DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA CONTINUA **22**

5.1 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 1 – (01-G) 22
5.2 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 2 (02 – T17) 28
5.3 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 3 (03 - P12) 33
5.4 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 4 (04 - P4A) 39
5.5 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 5 (05 – P14). 45
5.6 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 6 (06 – T12) 50
5.7 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 7 (07 – OA) 54
5.8 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 8 (TMF – 01). 60
5.9 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 9 (TMF – 02). 65
5.10 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 10 (10 – PA). 70
5.11 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 11 (11 – P20). 75
5.12 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 12 (12 – SBN). 79

6 CONCLUSIONES **84**

7 BIBLIOGRAFíA **86**

8 ANEXOS **87**

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Resistividades Reales de los Diferentes Sedimentos y Rocas....16
Tabla 4.1. Ubicación sugerida de Piezómetros Ambientales – Minera Panamá S.A. 17
Tabla 4.2. Líneas de Prospección Geoeléctrica Continua levantadas en el área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 19
Tabla 5.1. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 1 (01-G) levantada Cerca a la Garita de Campo Dorado en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 27
Tabla 5.2. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 2 (02 – T-17) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 32
Tabla 5.3. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 3 (03 – P12) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 38
Tabla 5.4. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 4 (04 – P4A) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 44
Tabla 5.5. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 5 (05 – P14) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 49
Tabla 5.6. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 6 (06 – T12) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 53
Tabla 5.7. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 7 (07 – OA) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 59
Tabla 5.8. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 8 (08 – TMF-01) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 64
Tabla 5.9. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 9 (09 – TMF-02) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 69
Tabla 5.10. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 10 (10 – PA) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 74
Tabla 5.11. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 11 (11 – P20) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 78
Tabla 5.12. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 12 (12 – SBN) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización del Área de Estudio. 5
Figura 2.1. Mapa de Clasificación Climática de Panamá (Koppen). 11
Figura 3.1. Esquema de la Ejecución Automática en Campo de la Prospección Geoeléctrica Continua. 14
Figura 3.2. Sensibilidad Relativa Obtenida Para la Generación de Cada Perfil (Perfil Genérico). 16
Figura 4.1. Localización de Líneas de Geoeléctrica Continúa Ubicadas en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá de Minera Panamá S.A. 20
Figura 5.1. Localización y Dirección de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continúa Identificada Como Línea 1- (01-G) cercana a la Garita de Campo Dorado en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 22
Figura 5.2. Imágenes Correspondientes a la Prospección Geoeléctrica Continua de la Línea 1 (01-G) levantada Cerca a la Garita de Campo Dorado en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 25
Figura 5.3. Imagen de Planta del trazado de la Línea 1 (01-GA) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 26
Figura 5.4. Localización y Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 2 (02 – T17), en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 28
Figura 5.5. Imagen de Resistividad de la Línea 2 (02 – T17) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 30

Figura 5.6. Imagen de Planta del trazado de la Línea 2 (02-T-17) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 31
Figura 5.7. Localización y Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 3 (03 – P12), en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 33
Figura 5.5. Imagen de Resistividad de la Línea 3 (03 – P12) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 36
Figura 5.9. Imagen de Planta del trazado de la Línea 3 (03-P-12) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 37
Figura 5.10. Localización y Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 4 (04 – P 4A), en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 39
Figura 5.11. Imagen de Resistividad de la Línea 4 (04 – P4A) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 42
Figura 5.12. Imagen de Planta del trazado de la Línea 4 (04-P-4A) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 43
Figura 5.13. Localización y Dirección de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada como Línea 5 (05 – P14) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 45
Figura 5.14. Imagen de Resistividad de la Línea 5 (05 – P14) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 47
Figura 5.15. Imagen de Planta del trazado de la Línea 5 (05-P-14) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 48
Figura 5.16. Localización y Dirección de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 6 (06 – T12) Cercana a la Planta de Emulsión en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 50
Figura 5.17. Imagen de Resistividad de la Línea 6 (06 – T12) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 52
Figura 5.18. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 7 (07 – OA) en cercanías a las Oficinas de Ambiente en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 54
Figura 5.19. Imagen de Resistividad de la Línea 7 (07 – OA) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 57
Figura 5.20. Imagen de Planta del trazado de la Línea 7 (07-OA) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 58
Figura 5.21. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 8 (08 – TMF-01) en cercanías la vía que conduce al Decanting Pond de la mina ubicada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 60
Figura 5.22. Imagen de Resistividad de la Línea 8 (08 – TMF-01) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 62
Figura 5.23. Imagen de Planta del trazado de la Línea 8 (08-TM-01) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 63
Figura 5.24. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 9 (09 – TMF-02) en cercanías de la presa Norte del Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 65
Figura 5.25. Imagen de Resistividad de la Línea 9 (09 – TMF-02) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 67
Figura 5.26. Imagen de Planta del trazado de la Línea 9 (09-TM-02) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 68
Figura 5.27. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 10 (10 – PA) ubicada en cercanías de la estructura de almacenamiento de relave conocida como Poza 4A, en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 70
Figura 5.28. Imagen de Resistividad de la Línea 10 (10 – PA) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 72
Figura 5.29. Imagen de Planta del trazado de la Línea 8 (08-TM-01) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 73
Figura 5.30. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 11 (11 – P20) en cercanías la vía que conduce al Decanting Pond de la mina ubicada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 75
Figura 5.31. Imagen de Resistividad de la Línea 10 (10 – PA) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 77
Figura 5.32. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 12 (12 – SBN) ubicada en el sector de san Benito. 79

Figura 5.33. Imagen de Resistividad de la Línea 12 (12 – SBN) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. 81
Figura 5.34. Imagen de Planta del trazado de la Línea 11 (11-P20) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación. 82

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I. Registro Fotográfico Correspondiente a las Actividades de Campo.

ANEXO II. Resultados de las imágenes de geoeléctrica continúa levantadas en el área de Minera Panamá, evidenciando las Resistividades Aparentes, calculadas y reales.

RESUMEN

Con base en el acuerdo de servicio suscrito entre la empresa MINERA PANAMÁ S.A. y HYDROGEOCOL ENVIRONMENT INC., se lleva a cabo el proyecto "Prospección Geoeléctrica Continúa para la evaluación de zonas potencialmente acuíferas y la posterior localización y perforación de piezómetros para el monitoreo ambiental en el área seleccionada por la empresa Minera Panamá S.A.". La investigación tiene como fin conocer la relación estratigráfica y conformación estructural del subsuelo de cada una de las zonas seleccionadas, identificando en profundidad las diferentes unidades hidrogeológicas existentes, junto con su potencialidad acuífera y su relación con la recarga superficial, evaluando los riesgos de contaminación antrópica.

La localización de cada una de Líneas de Prospección Geoeléctrica Continua en el área del proyecto, se lleva a cabo con base en una ubicación de Siete (07) piezómetros múltiples (diferentes profundidades) planteada por Minera Panamá para el monitoreo ambiental e identificación de los impactos ambientales, que se puedan generar por la disposición de relaves mineros. De acuerdo con el trazado de las líneas, se lleva a cabo una visita técnica bajo el acompañamiento del director de la Unidad Ambiental de la citada empresa y personal técnico del proyecto, en donde se define el trazado final de las líneas.

Una vez ubicados los trazados definitivos de las citadas líneas de prospección geoeléctrica, se da inicio por parte de la empresa Minera Panamá S.A, a la apertura de las respectivas trochas con su correspondiente nivelación topográfica de precisión, señalando con estacas en un trazo recto, los puntos donde van hincados los electrodos de corriente.

En la mencionada área de estudio situada en cercanías del IMR (Instalación de Manejo de Relaves) y de los Tajos Botija y Colina, se ubican doce (12) Líneas de Prospección de Geoeléctrica Continua, identificadas por Minera Panamá S.A., con una numeración consecutiva correspondiente al número de cada línea, seguida del nombre de la respectiva zona donde ellas se levantan. Geomorfológicamente las líneas de prospección se ubican sobre una topografía irregular, cruzando terrenos semiplanos, colinas y cerros con pendientes moderadas a fuertes con alturas no superiores a los 150.0 m.s.n.m, en donde predomina una vegetación boscosa, junto con suelos altamente saturados debido a los fuertes eventos de lluvia que ocurren en la zona durante el año y se intensifican en los meses de noviembre y diciembre, surcada por corrientes superficiales de carácter intermitentes. Dichas colinas y cerros están compuestos generalmente por rocas ígneas y volcánicas con diversos grados de meteorización que originan un espeso saprolito de color rojizo por presencia de óxidos de hierro.

Para la adquisición de la información geoeléctrica de campo, se emplea un equipo de resistividad digital de alta resolución y precisión, marca SuperSting™, un instrumento automático multieléctrodo con 56 sensores de corriente. Una vez ubicados en terreno, para elegir la mejor disposición electródica que se ajuste a las condiciones topográficas y a la geología del área investigada, se corren disparos en ocasiones con el método Wenner y principalmente con el Schumbeger, considerando que éste arreglo posee menos afectación por ruido y alcanza mayor profundidad y mejor resolución para las condiciones húmedas del área. El perfil geoelectrico de menor longitud tiene 447.0 m con separación de electrodos de aproximadamente 8.0 m, para alcanzar una profundidad de investigación cercana a los 75.0 m, mientras el de mayor longitud tiene 800.0 m con electrodos separados cada 14.2 m con el fin de lograr una profundidad de investigación de aproximadamente 130.0 m. Por último, para la interpretación de la información de campo se emplea el programa computacional EarthImager 2D v.1.0.2 (2011), con licencia de uso para Hydrogeocol Environment Inc.

Durante el estudio también se analiza la información recopilada referente a la Geomorfología, Geología, Hidrología e Hidrogeología del área, y se examina los resultados del levantamiento y la interpretación de las líneas de prospección levantadas, y las posibilidades de almacenamiento de agua subterránea en las rocas y sedimentos allí presentes, como también sus posibilidades de contaminación antrópica por la actividad minera.

1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del estudio está dirigido a determinar en el área de la Mina de Cobre operada por Minera Panamá S.A, la ocurrencia de unidades hidrogeológicas potencialmente acuíferas que eventualmente pueden verse afectadas debido al manejo de relaves depositados en pozas colectoras. Determinando además la relación de estas unidades con las corrientes superficiales y la tectónica del área, junto con la recomendación de sitios adecuados para la perforación de piezómetros de monitoreo.

1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Reconocer las áreas ubicadas en alrededores de zonas IMR (Instalación de Manejo de relaves) y de los Tajos Botija, Valle Grande y Colina, para ubicar el trazado de doce (12) líneas de Geoeléctrica Continua, previamente aprobadas por Minera Panamá, con el fin de identificar las unidades hidrogeológicas y estructuras (disposición estratigráfica y fallas) existentes, y así establecer cursos preferenciales del flujo subterráneo en cada una de ellas.

- Realizar el análisis geomorfológico y geológico de las zonas seleccionadas previamente con base en la información secundaria recopilada y analizada.

- Realizar Levantamiento de una Línea de Geoeléctrica Continua en cada zona seleccionada, que sirva de referencia para comparar e interpretar los valores de resistividad reflejados por las rocas ígneas, volcánicas y depósitos sedimentarios existentes en el subsuelo.

- Interpretar la secuencia hidrogeológica de cada una de las zonas evaluadas, estableciendo la relación entre las unidades geológicas potencialmente acuíferas y su recarga a través de las fuentes superficiales, esto con el fin de determinar las vías preferenciales del flujo subterráneo, tanto en rocas con porosidad primaria (sedimentos), como en rocas con porosidad secundaria (fracturas), que puedan dan lugar a posibles procesos de contaminación antrópica por infiltración.

- Recomendar la ubicación de piezómetros ambientales, con el fin de monitorear el estado del agua subterránea.

1.2 ALCANCE

Recopilación de información general y específica del área de estudio, tal como; información geológica, mapas, columnas estratigráficas de piezómetros elaborados y registros eléctricos, reconociendo la geología y geomorfología del área, con lo cual se pudo determinar la ubicación de las Líneas de Geoeléctrica Continúa.

Levantamiento e interpretación de doce (12) Líneas de Geoeléctrica Continua entre 450.0 y 800.0 metros lineales aproximadamente, para alcanzar profundidades de investigación entre 75.0 y 130.0 m, para posteriormente elaborar perfiles geológicos - geoeléctricos esquemáticos que permitan conocer el área de estudio en profundidad, con el fin de proponer un sitio o sitios óptimos para la construcción de piezómetros ambientales.

1.3 LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra localizada en los Tajos Botija y Colina de Minera Panamá, situada en el Distrito de Donoso en la Provincia de Colón en la República de Panamá y su localización se presenta en la Figura. 1.1.

Figura 1.1. Localización del Área de Estudio.

2. CARÁCTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación, se realiza una descripción de algunos aspectos abióticos, comprendidos dentro del área de investigación.

2.1 BOSQUEJO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

Geomorfológicamente la República de Panamá está constituida por una estrecha franja territorial que se alarga en forma sinuosa de Oriente a Occidente, desde los límites fronterizos de Colombia hasta Costa Rica. Dicha franja está representada por una cadena montañosa conocida como Cordillera Central de Panamá, con picos de altura promedio inferior a los 1500.0 m.s.n.m, que culmina en el volcán Barú con una altura de 3475.0 m.s.n.m, cerca de la frontera con Costa Rica. El Proyecto Mina de Cobre Panamá se ubica en la región Central Norte de esta cordillera.

La mencionada Cordillera Central de Panamá forma parte de la cadena volcánica de Centro América, la cual se desarrolla paralelamente a la línea litoral, dividiendo al país en dos (2) vertientes bien definas, la del Caribe al Norte y la del Pacífico al Sur, perteneciendo dicha Cordillera al sistema montañoso circumpacífico que tuvo origen en el ciclo Orogénico Alpino desarrollado en el Terciario.

El territorio de la República de Panamá presenta tres regiones morfo-estructurales, las Regiones de Montañas, las Regiones de Cerros Bajos y Colinas, ambas de origen estructural, y las Regiones Bajas y Planicies Litorales de origen denudativo. Aparecen claramente individualizadas desde el punto de vista topográfico (altitud y pendiente), estructural (litología y tectónica) y de acuerdo con su historia geológica.

Las Regiones de Montañas contienen geoformas de origen Estructural modeladas en rocas volcánicas y plutónicas con alturas desde los 1500.0 hasta los 3475.0 msnm. Está representada por la Cordillera Central, con la excepción de las elevaciones del Teribe y Changuinola en Bocas del Toro, que son de naturaleza sedimentaria.

Las Regiones de Cerros Bajos y Colinas igualmente son de origen Estructural y se caracterizan por presentar alturas topográficas que oscilan entre 100.0 y 700.0 m.s.n.m. Desarrolla una topografía de paisaje accidentado donde las laderas de los cerros y colinas tienen formas convexas en las partes superiores y cóncavas en las inferiores. Corresponden a zonas de contacto de cuencas sedimentarias que fueron cubiertas por material volcánico e intrusiones ígneas generalmente de composición granodiorítica y andesítica debido a empujes en zonas de subducción. (URS, Holding Inc, 2015). El área investigada en el proyecto Mina de Cobre Panamá, aparece asociada a este tipo de geoformas.

Las Regiones Bajas y de Planicies Litorales, corresponden a geoformas de origen Denudativo, donde principalmente se desarrollan las Cuencas Sedimentarias del Terciario. Conciernen a zonas deprimidas, constituidas por rocas sedimentarias depositadas en ambiente marino, donde la topografía varía de aplanada a poco ondulada, con declives que oscilan entre muy débil y débil, además con relieves residuales (colinas aisladas y diques) que irregularizan el paisaje de estas geoformas. Sobre la geomorfología Terciaria ocurren las geoformas Cuaternarias, con la excepción de los Depósitos Coluviales que aparecen adosados a las laderas de Cerros y Colinas. (ANEXO I. Fotografías No. 1, 2 y 3).

Geológicamente el Istmo de Panamá surge a finales del Cretáceo hace unos 80 millones de años, a través de una fisura oceánica que da origen a un volcanismo submarino el cual permite la conformación de un arco de islas, el cual actualmente constituye la parte basal de Cordillera Central. Posteriormente durante el Terciario, específicamente en el Mioceno, se presentan los primeros procesos eruptivos de tipo Continental y muy explosivo que además de ocupar gran parte del territorio del Istmo, cubre parcialmente las rocas Cretácicas existentes, el cual termina por construir la citada principal cadena montañosa del país. A esto se le suman los ciclos de sedimentación, desde el período Eoceno hasta el Pleistoceno y el Reciente, conformándose así la presente configuración geológica y tectónica de Panamá.

El Istmo de Panamá está situado sobre una mini-placa tectónica identificada como Bloque de Panamá, la cual se encuentra sísmicamente activa debido a la colisión de cuatro grandes placas tectónicas que la rodean, representadas al Norte por la Placa Caribe, al Sur por la Placa de Nazca; al Sur-Occidente la Placa de Coco y al Oriente la Placa Suramericana. Por esta razón, el citado Istmo presenta una historia sismo-tectónica reciente, correspondiente al Terciario, época en la cual emergen las estructuras que actualmente se conocen.

Las condiciones geológicas-estructurales de Panamá son muy complejas, donde existen rocas volcánicas y sedimentarias con frecuencia intercaladas, producto de los diferentes pulsos magmáticos con diferentes composiciones originadas por eventos compresivos de las placas tectónicas, que incluyen rocas intrusivas y extrusivas y sedimentos tanto marinos como terrestres.

Las rocas básicas y ultrabásicas que afloran en la parte Sur-Occidental del país y arriba de toda la línea de Costa Caribe en el Oriente de Panamá, son consideradas como las más antiguas. Se trata de lavas basálticas, gabros, diabasas y esquistos verdes, que en ciertos puntos contienen un ligero metamorfismo. Las lavas presentan frecuentemente estructuras en "almohadilla", indicativas de un emplazamiento en ambiente submarino. Las rocas sedimentarias de edad Cretácica, comprenden calizas localmente afectadas por metamorfismo de contacto, mientras las Terciarias presentan secuencias marinas y terrestres, influenciadas por eventos volcánicos, y por ello se encuentran cubiertas o intercaladas con flujos básicos, intermedios, ácidos, brechas volcánicas e ignimbritas. Este desarrollo varía grandemente en regiones individuales de Panamá, por lo que no es posible hacer una correlación estratigráfica precisa, por ello la clasificación varía de una región a otra. Los numerosos estudios detallados, realizados en el área de la franja del Canal de Panamá, han revelado la complejidad y problemas que se desprenden en una región tectónicamente activa.

El área correspondiente a la presente investigación, está constituida hacia la base por rocas de composición andesíticas alteradas, flujos basálticos, tobas y rocas sedimentarias, intruidas por el Batolito de Petaquilla de composición cuarzo-monzonítica localizado hacia la parte Norte de la mina, el cual se extiende al Sur-Oriente a la región del Tajo Botija (AMEC, 2010). Hacia las márgenes del citado Batolito, también ocurren numerosos stocks y plutones de composición granodiorítica, tonalítica y cuarzo-diorítica, donde es común la presencia de espesos suelos residuales con tonalidades rojizas (saprolitos), producto de la intensa meteorización de estas rocas, los cuales son definidos por Massey et. al (1989) de la siguiente manera:

Suelo Residual, material producto de una roca que ha sido completamente meteorizada a un suelo sin ningún tipo de estructura remanente visible.

Saprolito, corresponde a una porción del perfil de meteorización que retiene la fábrica y la estructura de la roca parental original, desarrollando un suelo en términos de consistencia y esfuerzo, donde todavía es posible reconocer el relicto mineralógico de la roca.

Saprock, referido a la zona de transición entre el saprolito y la roca parental, donde el material puede estar presente en varios estados de meteorización, desde altamente meteorizado como una zona significativa de suelo, hasta la roca fresca.

Roca Parental Meteorizada, la cual a diferencia del Saprock carece de un componente significativo de suelo, y donde se puede observar la presencia de diaclasas o fracturas, siendo a veces difícil diferenciar las dos unidades.

Tectónicamente el área del proyecto Mina de Cobre Panamá se encuentra dominada por dos (2) importantes trenes estructurales con dirección Nor-Oriente y Nor-Occidente. La principal estructura corresponde a la Falla del Río Botija, una falla normal con inclinación hacia el Norte y rumbo con orientación variable entre NE y NO, con un Brazo de Falla inclinado hacia el Sur-Oriente. (ANEXO I. Fotografías No 4, 5 y 6).

El Cuaternario, define toda la actividad geológica que ha ocurrido desde el final de la época Pliocena hasta el presente. Consiste principalmente de rocas volcánicas del Pleistoceno, depósitos aluviales asociados a las principales corrientes superficiales, depósitos litorales de pantanos, arcillas y cienos orgánicos intercalados que contienen fósiles marinos, gravas y finalmente depósitos coluviales. (ANEXO I. Fotografías No. 7 y 8).

2.2. SINTESÍS HIDROLÓGICA

Uno de los aspectos básicos en la definición del clima es la orografía del lugar, ya que el relieve no sólo afecta el régimen térmico, produciendo disminución de la temperatura del aire con la altura, sino que afecta la circulación atmosférica y modifica el régimen pluviométrico general.

Hidrológicamente Panamá está ubicada en la zona intertropical próxima al Ecuador, en una franja angosta orientada de Oriente a Occidente y bañada sus costas por los océanos Atlántico y Pacífico, donde sus grandes masas oceánicas son las fuentes principales del alto contenido de humedad en el ambiente de este territorio. Debido a lo angosto de la franja que separa ambos océanos, el clima aparece determinado por una gran influencia marítima, donde la interacción mar-atmósfera determina las propiedades de calor y humedad de las masas de aire que circula sobre dichos océanos.

Por las anteriores razones, para Panamá básicamente se ha estipulado dos (2) zonas climáticas. La primera corresponde a la Zona de Climas Tropicales Lluviosos con temperatura media mensual para todos los meses del año mayor de 18 ºC, desarrollándose las plantas tropicales cuyos requerimientos son de intenso calor y mucha humedad que corresponden a zonas de vegetación Megaterma.

La segunda comprende la Zona de Climas Templados Lluviosos correspondiente al área del presente estudio) donde la temperatura media mensual más cálida es mayor de 10ºC y la media mensual más fría menor de 18 ºC, pero mayor de -3 ºC. Aquí la vegetación característica de esta zona necesita un calor moderado y suficiente humedad, pero generalmente no resiste los extremos térmicos o pluviométricos, distinguiéndose por desarrollar una vegetación Mesoterma, (Mapa Hidrogeológico de Panamá, 1999).

El territorio de Panamá es atravesado por una serie de cadenas montañosas conocidas como Salamanca, Tabasará, San Blas y Darién, que modifican las condiciones generales de clima tropical y establecen zonas donde se presentan variaciones de clima a cortas distancias, donde el relieve, además de afectar el régimen térmico (disminución de temperatura con la altura), afecta la circulación atmosférica del país y modifica el régimen pluviométrico general.

Las masas de aire tropical que normalmente llegan al país son calientes y húmedas, y por lo general inestables, liberando su humedad como precipitación a través de la combinación de los procesos de ascenso producido por la topografía (orográfica). Las migraciones estacionales de las masas de aire tropical del Pacífico y del Atlántico que acompañan al sol en su curso anual y los desplazamientos estacionales de los ciclones subtropicales del Atlántico y Pacífico Norte, así como también los vientos alisios y la Zona de Convergencia Intertropical constituyen los factores principales que acoplados a la topografía de la región, determinan dos (2) regiones de precipitación estacional anual total bien definidas en cuanto a su distribución conocidas como "El régimen del Pacífico y del Atlántico". El régimen del Pacífico descansa al Sur de la división continental y hay ciertos traslapos hacia el lado Atlántico, como igualmente sucede en el régimen Atlántico sobre la división hacia la cuenca del Pacífico.

La mayor parte de la Provincia de Colón, donde se encuentra ubicado el proyecto, está influenciada por el régimen del Atlántico que se caracteriza por presentar un clima tropical oceánico con estación lluviosa larga y la seca corta. La estación seca va de enero a abril, con febrero y marzo como meses más secos. Los periodos húmedos se presentan desde mediados de mayo a diciembre, siendo noviembre el mes más lluvioso, comportándose por ello el régimen climático como Unimodal.

De acuerdo a la clasificación Koeppen, el clima de sub-cuencas del Río Belén, y zonas aledañas al desarrollo del proyecto Mina de Cobre de Panamá, corresponde a un clima tipo Afi, clasificado como Tropical Muy Húmedo por las temperaturas que se generan en la zona. Esta clasificación se refiere a zonas con lluvia copiosa todo el año, donde en el mes más seco la precipitación es mayor de 60.0 mm, con temperatura media del mes más fresco mayor a 18°C, siendo la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco menor a 5 °C. En la Figura 2.1, tomada del informe Hydrogeocol Environment (2019), se muestra la clasificación Climática de Panamá, según Koppen.

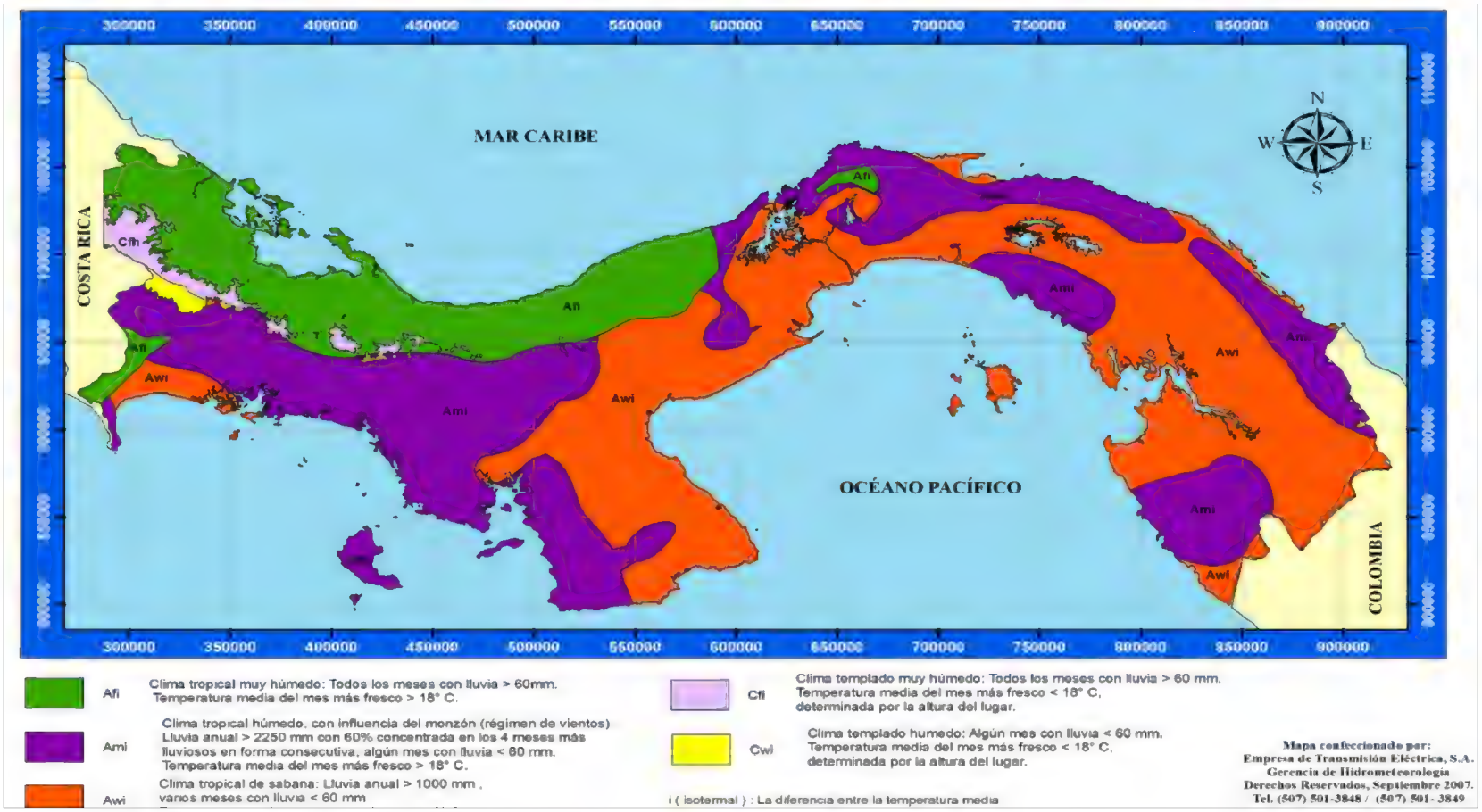


Figura 2.1. Mapa de Clasificación Climática de Panamá (Koppen).

El comportamiento histórico de la precipitación en la República de Panamá, ha registrado las mayores precipitaciones en la región Atlántica del país con valores promedios anuales superiores a los 2500.0 mm y precipitaciones inferiores en la región del Pacífico. El movimiento de las masas de aire húmedo provenientes del Océano Atlántico hacia el relieve panameño y el efecto de la Cordillera Central, junto con el ascenso de los vientos producto del efecto orográfico, generan mayores precipitaciones en las partes altas del país. Históricamente las principales actividades meteorológicas se han registrado en la región atlántica del país, con la ocurrencia de frentes fríos, vaguadas monzónicas y los huracanes en el sector del Caribe.

La precipitación promedio anual en el área de desarrollo del proyecto Mina de Cobre Panamá para el período 1980 a 1994 presenta en la Estación 105-009 Coclesito, un valor de 3100.0 mm (Minera Panamá S.A, 2010), calculándose para la Evapotranspiración anual un valor de 1250.0 mm (ACP, 2001). A nivel mensual, se observa que el período de mayor promedio de precipitación corresponde a los meses de mayo a diciembre, con el mayor nivel en noviembre 611.0 mm. Por otra parte, entre los meses de menor precipitación (enero a abril), el máximo valor promedio registrado se presenta en el mes de abril con 133.4 mm, en tanto que en el mes de febrero se registra el menor promedio mensual con 15.4 mm. (Mapa Hidrogeológico de Panamá, 1999).

Para sintetizar el cálculo del Balance Hídrico del área de estudio, el cual permite conocer en términos generales los periodos para los cuales existe déficit o exceso de agua en el área, se determina la Tasa de Evapotranspiración Potencial que se origina en dicha área, dado que no siempre los sistemas Suelo-Vegetación evapo-transpiran a su tasa potencial ya que deben hacerlo a una tasa menor en razón a la disponibilidad de agua aprovechable en el suelo. Este aprovechamiento depende de los aportes por parte de la Precipitación y la habilidad del suelo de retener agua en la Zona Radicular.

Al analizar las Entradas y Salidas de agua de cualquier sistema, es necesario determinar sus límites físicos, es decir el volumen de control. Para el Balance Hídrico del Área del proyecto Mina de Cobre Panamá, se define como limite la capa superficial de suelo, donde la vegetación toma el agua para su desarrollo. Por ello se elabora un balance hídrico preliminar del suelo, en éste caso a nivel multianual, tomando como entradas la Precipitación y como salida la Evapotranspiración Potencial.

Para determinar la Recarga o Infiltración Potencial hacia Unidades Hidrogeológicas del área investigada, mediante un Balance Hídrico preliminar, se desarrolla en forma aproximada la Ecuación Bradbury et. al (2000) definida como:

$$R = P - ETR - ES - \Delta S$$

Donde R es la Recarga Potencial, P la Precipitación, ETR la Evapotranspiración Real, ES la Escorrentía Superficial y ΔS el cambio de Humedad del Suelo.

En el área de estudio el excedente de la Precipitación (diferencia entre la Precipitación Promedio Anual de 3100.0 mm y la Evapotranspiración Real Anual calculada en 1250.0 mm), es del orden de 1850.0 mm/año. Considerando que el 70% de éste último valor (1295.0 mm/año) corresponde al agua disponible para Escorrentía y Evaporación y que el 15% (194.2 mm/año) se pierde por Escorrentía, su diferencia equivale a 1100.8 mm/año. Por lo tanto, estimando que el 30% de éste último valor (330.2 mm/año) corresponde al agua que se infiltra hacia las raíces de las plantas y la que se percola hacia las Unidades Hidrogeológicas del área para constituir los almacenamientos de agua subterránea, el 50% de éste último valor (165.1 mm/año) representa entonces la Recarga o Infiltración Potencial hacia esas Unidades.

Este valor considerado alto, ocurre especialmente hacia aquellas unidades Cuaternarias conformadas por sedimentos inconsolidados con desarrollo de una porosidad primaria, estimándose mucho menor hacia las rocas ígneas y volcánicas con porosidad secundaria por fracturas.

3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA CONTINUA

La prospección Geoeléctrica Continua evalúa la resistividad del subsuelo, tanto en profundidad como lateralmente, manteniendo constantes las separaciones del arreglo de electrodos dispuestos equidistantemente a lo largo del perfil de investigación. Una vez disparada la corriente desde el punto central del perfil, en cada punto de medida (electrodo) se registra el gradiente de voltaje, la corriente inyectada y la resistividad aparente a una distancia conocida y a una profundidad dada. Este proceso lo lleva a cabo en forma automática el equipo (SuperStingTM). Ver Figura 3.1. Esquema de Ejecución de Prospección Geoeléctrica continúa.

El citado procedimiento es quizás la metodología de prospección geofísica más útil para evaluar a través de una sección (bajo el perfil de investigación), las condiciones y características de las diferentes capas y/o cuerpos de materiales que conforman el subsuelo. Con la imagen bidimensional que se obtiene como resultado del procesamiento de la información de campo, es posible identificar y localizar tanto en extensión como en profundidad los diferentes estratos y/o cuerpos que conforman el subsuelo, y determinar algunas de las características y condiciones geológicas y estructurales de los materiales que lo conforman.

Para la adquisición de la información de campo se emplea un equipo de resistividad digital de alta resolución y precisión, marca Super StingTM. Cuenta con cableado de 8 secciones de 162.0 m de longitud y 7 sensores separados uno de otro a una distancia de 20.25 m., los cuales se amarran a igual número de electrodos de corriente, para un total de 56 electrodos, ver Figura 3.1. Esquema de Ejecución de Prospección Geoeléctrica continúa.

Para elegir la mejor disposición electródica que se ajuste a las condiciones topográficas del terreno y a la geología del área investigada, se corren con el citado equipo de resistividad, disparos en modo Schlumberger, teniendo en cuenta que éste arreglo posee menos afectación por ruido, alcanza mayor profundidad y presenta la mejor resolución para las condiciones topográficas y de vegetación del área. Teniendo en cuenta que la profundidad de investigación alcanzada corresponde a la sexta parte de la longitud del perfil.

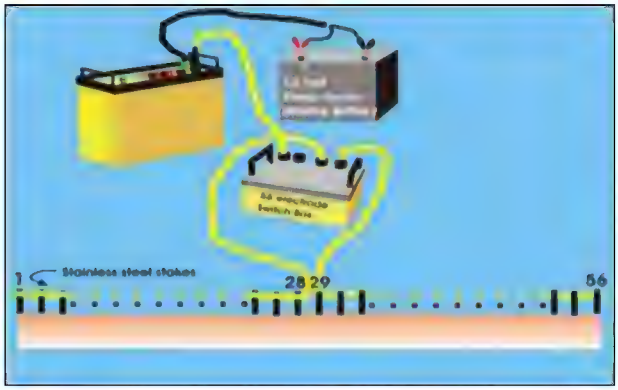


Figura 3.1. Esquema de la Ejecución Automática en Campo de la Prospección Geoeléctrica Continua.

Para lograr dicho objetivo, la información digital obtenida es ingresada al programa EarthImager® 2D vs. 2.2 (2011). Cada perfil es procesado individualmente utilizando algoritmos adecuados para la inversión, teniendo en cuenta la técnica y la experiencia del consultor en este tipo de tareas.

Las resistividades aparentes medidas en campo y la información topográfica a lo largo de los perfiles de prospección, son los datos de entrada para el algoritmo del programa computacional (Earthimager 2D, 2011). Con las mediciones de campo, se obtiene una imagen del subsuelo de la distribución de los valores de resistividad aparente en el terreno, imagen que elabora el programa con base en la interpolación lineal de los valores de resistividad aparente registrados en campo.

Para el proceso de interpretación, el programa Earthimager 2D dispone de diversas opciones que van desde la edición de los datos de campo, para la eliminación y ajuste de datos anómalos, hasta la selección de alternativas de operación para el proceso matemático de inversión y modelación (ya sea por elementos finitos o diferencias finitas). La selección adecuada de las diferentes opciones que el programa presenta, depende en gran medida del conocimiento de las condiciones geológicas (estratigrafía y tectónica) del terreno, del factor topográfico que imprime el relieve del terreno y de las características y comportamiento de los datos de resistividad aparente tomados en campo.

El programa Earthimager arroja 3 imágenes de la interpretación. La primera denominada Modelo de Resistividad Real que se genera con base en la información de campo, se aprecian las diferentes unidades geológica-geoeléctricas presentes en el subsuelo (diferenciadas de acuerdo a intervalos de resistividad real), condiciones estratigráficas, espesores, profundidades, etc. Estas características, al correlacionarlas con la información existente y la geología de campo, permiten obtener un Modelo Geológico-Geoeléctrico (Segunda imagen del Programa) del subsuelo evaluado bajo la línea de prospección o pseudo-sección.

El proceso de interpretación es iterativo de ensayo y error, en el cual se busca primero que el modelo de interpretación matemática (modelo de resistividades reales) genere una imagen de resistividades aparentes calculadas, similar a la obtenida en campo (con RMS error bajo, menor al 12%), con lo cual se considera que matemáticamente el modelo de resistividad real se aproxima con buena precisión a las condiciones de campo, en ocasiones se presentan líneas con valores por encima del 12%, este se puede interpretar siempre y cuando se tenga claro la conformación geológica del área de estudio, y se tenga información de geoeléctrica de las áreas aledañas al sitio estudiado.

En segunda instancia, se verifica que el modelo de resistividad real resultante, tenga similitud con la interpretación geológica, para lo cual se requiere tener conocimiento de las condiciones y características geológicas del área, a fin de tener criterios de clasificación claros para seleccionar la respuesta que se aproxime con mejor detalle a las condiciones naturales presentes. Para el procesamiento de los datos se puede hacer uso de dos criterios; el RMS (Root Mean Square) equivalente a la Raíz de la sumatoria de los mínimos cuadrados, indicando el grado de certidumbre de los resultados reportados, se elige como valor máximo de RMS ≤12% para el post-procesamiento.

El segundo criterio, es la Norma L2, el cual se utiliza en aquellos casos donde el ruido cultural (generados por fuentes en los alrededores) sea muy alto, por lo cual, mediante la normalización del porcentaje de error de cada dato medido, se puede mejorar la convergencia, considerando un valor de L2 lo más cercano a 1. El criterio de interpretación a utilizar depende de la experiencia del consultor.

Con base en el modelo de resistividad real resultante y teniendo en cuenta la topografía de superficie (integración y corrección que efectúa directamente el programa de interpretación), se elabora el Modelo Final de Interpretación Geológica-Geoeléctrica (tercera imagen), en el cual se definen las diferentes unidades hidrogeológicas y las estructuras que conforman el subsuelo, hasta la profundidad de investigación estipulada.

En la Tabla No. 3.1, se presentan los valores de resistividad real típicos para algunas de las rocas y sedimentos saturadas o no con agua, que se encuentran más frecuentemente dentro de la corteza terrestre. La resistividad de las arenas y gravas puede variar mucho según la cantidad de agua que contienen y la calidad de la misma, por lo cual no se puede dar cifras concretas, pero es de gran interés conocer que cuando están secas pueden alcanzar valores hasta de 10^5 Ohm-m y de 0.01 Ohm-m sí el agua es salada.

Tabla 3.1. Resistividades Reales de los Diferentes Sedimentos y Rocas.

ROCAS O SEDIMENTOS	RESISTIVIDAD (Ohm)
Arcilla y limolita	2 – 15
Arena seca	>200
Arena saturada con agua dulce	20-150
Arena saturada con agua salobre	5 - 15
Arena saturada con agua salada	< 5
Grava saturada con agua dulce	50-300
Arenisca con agua dulce	30 - 50
Caliza porosa con agua dulce	< 500
Caliza compacta	> 500
Roca ígnea, volcánica o metamórfica fracturada saturada con agua dulce	200 - 1000
Roca ígnea, volcánica o metamórfica masiva	> 1000

Después de levantada la información de campo, es necesario verificar que la sensibilidad del modelo sea coherente con los resultados generados mediante la observación de la calidad y filtrado de información, como se observa en la Figura 3.2, donde la secuencia de colores indica de la parte superior a la inferior la forma como las imágenes de cada perfil muestran los valores de resistividad de mayor a menor.

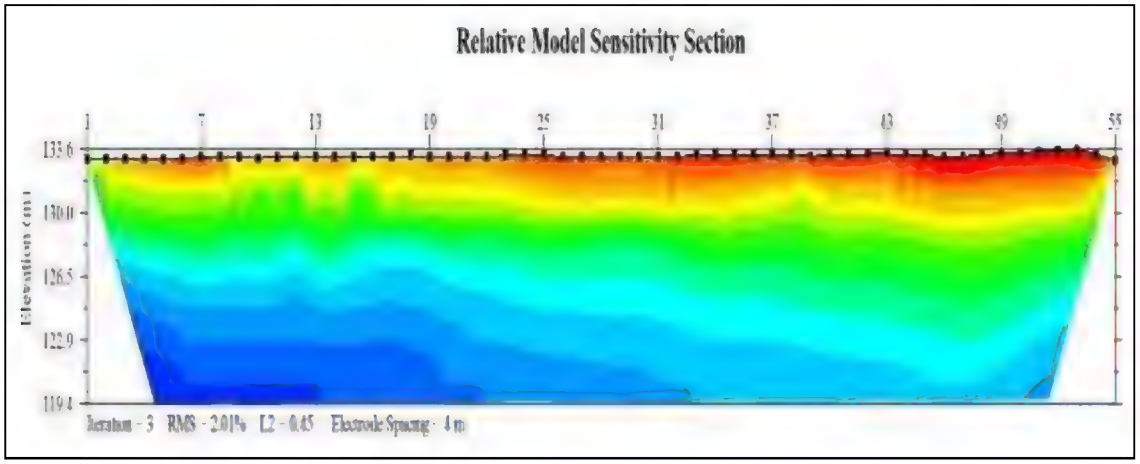


Figura 3.2. Sensibilidad Relativa Obtenida Para la Generación de Cada Perfil (Perfil Genérico).

4 EJECUCIÓN DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA CONTINUA

En el área de estudio se requiere identificar con la ejecución de la geoelectrica continua, además del contacto de las Formaciones Geológicas predominantes del área, y sus espesores promedios, determinar la ubicación optima de piezómetros ambientales para ejecutar el monitoreo del agua subterránea y la detección temprana de posibles impactos, que puedan ser originados por la actividad minera, en especial en áreas seleccionadas para el manejo de relaves (IMR), dispuestas por Minera Panamá.

Cabe mencionar que tanto la ubicación como la disposición geométrica de las líneas de geoeléctrica continua y la profundidad de investigación determinada, fue llevada a cabo teniendo en cuenta el fácil acceso al lugar del trazado de las mismas, la revisión de información preliminar y la ubicación sugerida de siete (7) piezómetros múltiples (perforaciones a distinta profundidad en un mismo lugar) entregada por Minera Panamá S.A

Una vez se tengan los resultados de las tomografías geoeléctricas en el área de investigación y se identifiquen zonas de alta permeabilidad, se recomendará la ubicación final para la perforación de los citados piezómetros. En la Tabla No. 4.1, se relaciona la identificación de los piezómetros propuestos para perforación entregados por Minera Panamá. En la Figura 4.1, se disponen espacialmente dichos piezómetros y se evidencia la relación con el trazado de las líneas de geoeléctrica.

Tabla 4.1. Ubicación sugerida de Piezómetros Ambientales – Minera Panamá S.A.

Código	Piezómetros	Área	Sector
127	GW-QAC-001A	TMF	North Dam
128	GW-QAC-001B	TMF	North Dam
129	GW-QCH-001A	TMF	East Dam
130	GW-QCH-001B	TMF	East Dam
131	GW-QP-001A	TMF	East Dam
132	GW-QP-001B	TMF	East Dam
133	GW-QCH-002A	TMF	East Dam
134	GW-QCH-002B	TMF	East Dam
135	GW-DMR-002A	TMF	North Dam
136	GW-DMR-002B	TMF	North Dam
137	GW-RM-001A	WRF	Rio Molejon
138	GW-RM-001B	WRF	Rio Molejon
139	GW-RB-001A	WRF	Q. Brazo
140	GW-RB-001B	WRF	Q. Brazo

Fuente: Términos de referencias; Groundwater environmental Monitoring Network and initial risk assessment on groundwater impact over site-wide área.

En cuanto al levantamiento e identificación de los perfiles geoeléctricos, cada uno de ellos se identifica con la sigla asignada por Minera Panamá S.A, la cual identifica el área de operación minera cercana. Una vez ubicadas las líneas, se procede a seleccionar la separación de los 56 electrodos de corriente, cuya distancia equivale a dividir la longitud total de la línea entre 56. Con base en el cálculo de esta separación y la dirección o rumbo de la línea, se procede a realizar por parte de Minera Panamá la apertura de la trocha y al levantamiento topográfico de precisión de los puntos donde van hincados los electrodos de corriente, para definir la configuración topográfica de la respectiva línea.

Es importante anotar que las doce (12) Líneas de Geoeléctrica Continúa proyectadas para la ejecución dentro del área de investigación, se ejecutaron en tres (3) campañas de campo, debido a la presencia del Covid -19. Para el levantamiento de la información, las tareas se dividen en dos (2) etapas de ejecución, la primera es la etapa de campo para la recolección de datos geoeléctricos del subsuelo, y la segunda está relacionada con el procesamiento e interpretación de los mismos.

Durante la etapa de campo se levantan en tres campañas un total doce (12) Líneas de Prospección Geoeléctrica Continua, donde el área en mención se caracteriza por su abrupta topografía conformada por colinas y cerros de moderada a fuerte pendiente y abundante vegetación. Según la ubicación establecida y acordada con Minera Panamá S.A, dos (2) de ellas se ubican hacia el costado noreste, en cercanías de la presa norte, otras dos (2) de ellos localizados en la parte Sur del Tajo Botija, cinco (5) ubicadas en el Costado Oriental y por último tres (3) ubicadas hacia el sector Nor-Oriental del Tajo Botija del área investigada en cercanías de la vía que conduce al puerto marítimo de la citada mina. (Figura 4.1).

Las líneas de geoeléctrica continúa ejecutadas hasta el momento, alcanzan una longitud de entre 447.0 y 800.0 m, con separación de electrodos desde 7.98 hasta 14.29 m, para alcanzar, respectivamente, una profundidad de investigación máxima aproximada entre 74.5 y 133.0 m.

En la Tabla 4.2 se muestra las características de cada una de las líneas en cuanto a su ubicación, longitud y la posible profundidad de investigación alcanzada. En la Figura No. 4.1, se presenta la localización y orientación de las líneas ejecutadas.

Tabla 4.2. Líneas de Prospección Geoeléctrica Continua levantadas en el área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

NOMBRE OFICIAL	LINEA	LOCALIZACIÓN				LONGITUD (m)	SEPARACION DE ELECTRODOS	RUMBO	PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN
		REFERENCIA	ELECTRODO	ESTE	NORTE				
01-G	Línea 1	Garita	E1	537934.63	974945.68	800.0	14.28	N20°W	133.33
			E56	538162.59	974177.33				
02-T-17	Línea 2	Torre 17	E1	539303.4	982199.28	800.0	14.28	N20°W	133.33
			E56	539619.4	981467.38				
03-P-12	Línea 3	Poza 12	E1	540818.26	976312.55	600.0	10.71	N10°W	100.0
			E56	540229.92	976283.90				
04-P4A	Línea 4	Poza 4A	E1	539508.01	977924.81	550.0	9.80	N65°W	91.00
			E56	539080.68	978050.33				
05-P14	Línea 5	Poza 14	E1	539864.88	977106.82	800.0	14.28	N85°W	133.33
			E56	540647.28	977040.43				
06-T-12	Línea 6	Torre 12	E1	539949.1	980044.7	800.0	14.28	N30°E	133.33
			E56	53949.64	980705.3				
07-OA	Línea 7	Oficina de Ambiente punto inicial	E1	537254.58	975280.00	800.0	14.28	N60°W	133.33
			E56	537812.22	975068.26				
08-TMF-01	Línea 8	Campamento TMF	E1	535036.9	982817.8	800.0	14.28	N60°W	133.33
			E56	536419.11	983180				
09- MF-02	Línea 9	Campamento TMF	E1	536981.85	983834.43	600.0	10.71	N10°W	100.0
			E56	536981.85	984042.06				
10-PA	Línea 10	Planta de Procesos	E1	539477.89	977640.64	500.0	8.92	N65°W	83.33
			E56	539978	977625.88				
11-P20	Línea 11	Campamento Cobre	E1	539499.99	979383.89	800.0	14.28	N85°W	133.33
			E56	540297.16	979438.87				
12-SBN	Línea 12	San Benito Punto Inicial	E1	541709.4	980044.7	800.0	14.28	N30°E	133.33
			E56	541272.1	976068.8				

Localización General de Lineas y Piezometros de Monitoreo Ambiental en el Area de Estudio de Minera Panamá -MPA
531800. 532800. 533800. 534800. 535800. 536800. 537800. 538800. 539800. 540800. 541800. 542800. 543800. 544800. 545800. 546800. 547800. 548800.
984900. 983900. 982900. 981900. 980900. 979900. 978900. 977900. 976900. 975900. 974900. 973900.
N
PZ_135-136
L 09 - TMF02
PZ_127-128
L 08 - TMF01
L 02 - T17
PZ_133-134
PZ_129-130
PZ_131-132
L 06 - T12
L 11 - P20
L 04 - P11A
L 10 - PA
L 05 - P14
L 03 - P12
L 12 - PB
PZ_139 - 140
L 07 - QA
L 01 - G
PZ_137-138
0 0.5 1 2 3 4
Kilometers
Legend
Área Tajo Valle Grande
Área Tajo Colina
Área Tajo Botija
Área Minera Panamá
Piezómetros Ambientales Sugeridos MPA
Lineas Geoelectrica Ejecutadas

Figura 4.1. Localización de Líneas de Geoeléctrica Continúa Ubicadas en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá de Minera Panamá S.A.

Los datos de campo fueron levantados ubicando el equipo SuperSting™ en la parte Central de cada línea, entre electrodo No 28 y 29. El equipo generador de corriente (SuperSting™) es alimentado con una batería de 12.0 voltios y se procede a la conexión de los 56 sensores de corriente que se encuentran adosados al cable y se amarran a los electrodos hincados al terreno a lo largo de la Línea. Después de seleccionar en el SuperSting™ el arreglo electródico a emplear, en éste caso el arreglo Schlumberger, se inyecta la corriente iniciando el barrido automático de todo el perfil a partir de los electrodos situados en los extremos, en una operación con una duración de 70 minutos aproximadamente. Al finalizar la medición, se descargan los datos al computador y se procesan los datos utilizando los algoritmos del programa EarthImager 2D v.2.2 (2011), donde se obtiene la respectiva imagen de resistividad aparente y real del subsuelo para la interpretación. (ANEXO I. Fotografías de ejecución de las líneas No. 9, 10, 11, 12 y 13).

Para la interpretación las Líneas de Geoeléctrica Continua, se tiene en cuenta la buena correlación que debe existir entre las dos imágenes superiores de cada uno de ellas correspondientes a Resistividades Aparentes, basándose la evaluación de dicha interpretación, en la tercera imagen inferior que refleja los valores de Resistividad Real asociadas a los diferentes depósitos sedimentarios del Cuaternario como también a las unidades roca que en su conjunto conforman el subsuelo más profundo de la respectiva Línea. Estos valores de resistividad se encuentran directamente correlacionados con una determinada tonalidad, observándose en alguna de ellas una brusca discontinuidad muy probablemente asociada a efectos tectónicos.

Para la identificación de las diferentes Unidades Hidrogeológicas asociadas a las rocas y sedimentos identificados en el sub-suelo de cada línea interpretada, estas según su composición litológica y los valores de resistividad reflejados, se clasifican como:

- **Acuífero:** Unidad Hidrogeológica que contiene agua y permite su movimiento a través de sus poros o fracturas, bajo la acción de la gravedad o la diferencia de presión.

- **Acuitardo**: Unidad Hidrogeológica que almacena poca agua subterránea y la transmite lentamente.

- **Acuicludo:** Unidad Hidrogeológica que almacena muy poca agua y no la transmite.

5 INTERPRETACIÓN DE LAS LÍNEAS DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA CONTINUA

A continuación, se relacionan los resultados de la interpretación de las doce (12) líneas levantadas hasta el momento en el área de estudio:

5.1 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 1 – (01-G)

Esta Línea de Geoeléctrica Continua se levanta en el lado Occidental de la vía de ingreso al complejo minero en cercanías a la Garita de Campo Dorado, hacia la parte Sur-Oriental del Tajo Botija, donde Minera Panamá sugiere la construcción de un (1) piezómetro de monitoreo ambiental tipo múltiple, identificados con las siglas GW-RM-001A y GW-RM-001B (PZ-137 -138).

La citada línea tiene una longitud de 800.0 m con un espaciamiento de electrodos de corriente de 14.28 m. para alcanzar una profundidad de investigación cercana a los 130.0 m, mediante. Se levanta en una dirección N20°W, donde el Electrodo No. 1 se ubica hacia la parte Nor-Occidental delimitado por las coordenadas Norte: 974945.68 m y Este: 537934.63, mientras el último Electrodo correspondiente al No. 56, se hinca al Sur-Oriente en las coordenadas Norte: 974177.33 y Este: 538162.59 (Figura 5.1).

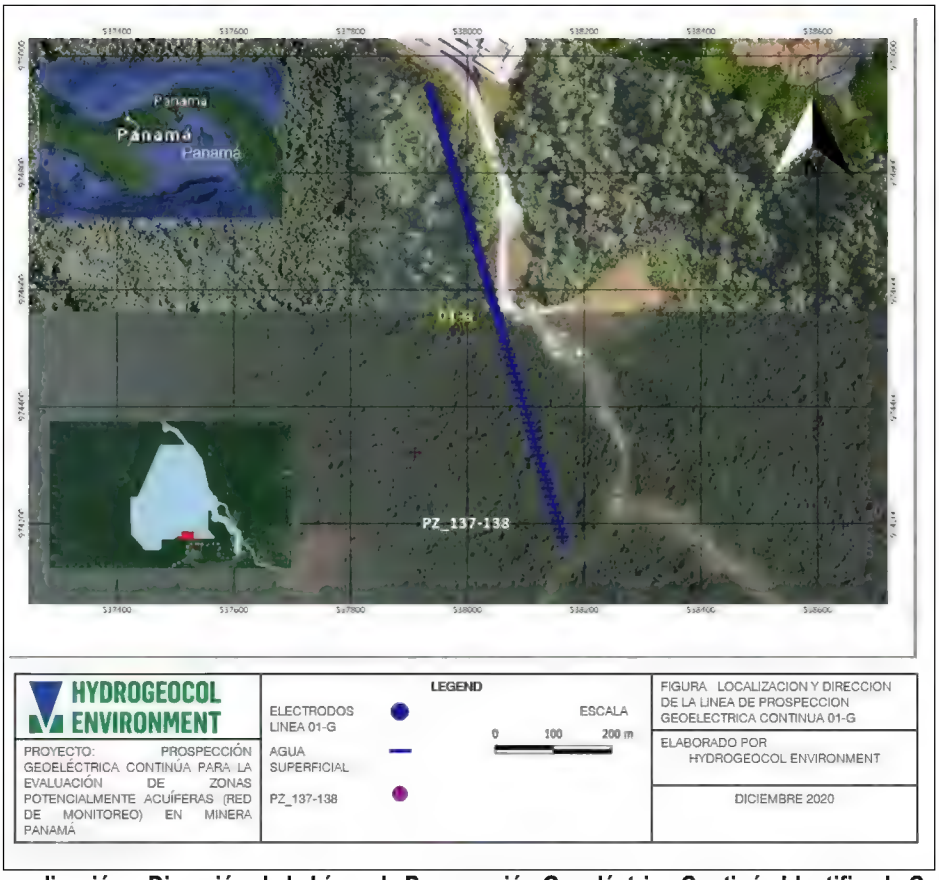


Figura 5.1. Localización y Dirección de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continúa Identificada Como Línea 1-(01-G) cercana a la Garita de Campo Dorado en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

En el Modelo Geológico-Geoeléctrico resultado de la interpretación, que se muestra en la Figura 5.2, se diferencian principalmente cuatro (4) unidades, definidas por los valores de Resistividad Real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) moderado, del orden del 12.65%, razón por la cual los resultados obtenidos que se presentan en la Tabla 5.1 se pueden considerar confiables. Este moderado error es producto de las intensas lluvias ocurridas durante el levantamiento en campo, originando una sobresaturación del terreno que facilita la difusión de la corriente eléctrica a través de la superficie, disminuyendo en cierto porcentaje su paso a mayor profundidad.

En la citada figura se evidencia que la unidad más antigua aparece en forma aislada en su parte inferior Central, localizada entre los electrodos No. 23 y 31 y simbolizada por el color amarillo intenso a pardo pálido, reflejando valores de resistividad entre 3232.0 y 6093.0 Ohm-m. La interpretación de estos valores indica la ocurrencia de un Saprock que representa la transición de un cuerpo ígneo, conformado en este caso por Granodiorita o Diorita, que gradualmente pasa de roca fresca a roca con un bajo a moderado grado de meteorización. El Saprock hidrogeológicamente se comporta como un Acuicludo, el cual debajo del electrodo No. 27 se encuentra aproximadamente a los 50.0 m de profundidad, desconociéndose su espesor.

La anterior unidad aparece cubierta por una espesa secuencia de Saprolito caracterizado en campo por su color naranja a rojo intenso, conformado por un material de granulometría fina a muy fina producto de la intensa meteorización del mencionado cuerpo ígneo, compuesto litológicamente por arcilla y limo-arcilloso. En la Figura 5.2 aparece simbolizado por el tono verde a verde amarillento, desarrollando un gran espesor al lado y lado del Saprock donde alcanza desde los 50.0 hasta más de 150.0 m, aflorando además en algunos sectores de la superficie del terreno. El Saprolito refleja valores de Resistividad desde 196.8 hasta 1801.5 Ohm-m, caracterizado hidrogeológicamente como Acuícludo, es decir sin ninguna posibilidad de almacenamiento de agua subterránea.

A lo largo de esta Línea 1- (01-G), el Saprolito cubre en algunos sectores a Depósitos Aluviales Cuaternarios que ocurren en las partes topográficas bajas por donde antiguamente transitaba una corriente superficial, cubrimiento que ocurre a través de material saprolítico arrastrado desde las partes altas, constituyendo de esta manera los Paleocauces. Estos Depósitos Aluviales litológicamente se encuentran constituidos por arenas finas a gruesas que envuelven a fragmentos tamaño cantos y grava fina a gruesa, simbolizadas en la imagen de la Figura 5.2 por el color azul pálido que reflejan valores de Resistividad entre 22.6 y 196.8 Ohm-m, con intercalaciones de arcilla y limos representados por la gama azul oscuro con valores de Resistividad desde 1.4 hasta 17.2 Ohm-m. Hidrogeológicamente esta unidad se comporta como Acuífero por contener moderados a altos valores de Conductividad Hidráulica, según los resultados de pruebas hidráulicas de Lefranc y Slug realizadas por WSP Chile Limitada (2019) en varios pozos de monitoreo construidos en otros sectores del área investigada.

Los anteriores Depósitos Aluviales se observan en tres (3) sectores a lo largo de la Línea interpretada, los cuales se pueden comportar como de tipo confinados. El primero de ellos se ubica hacia el extremo Nor-Occidental de la Línea, entre los electrodos No 9 y 15, donde debajo del Electrodo No. 12 el acuífero tiene un espesor máximo de 35.0 m.

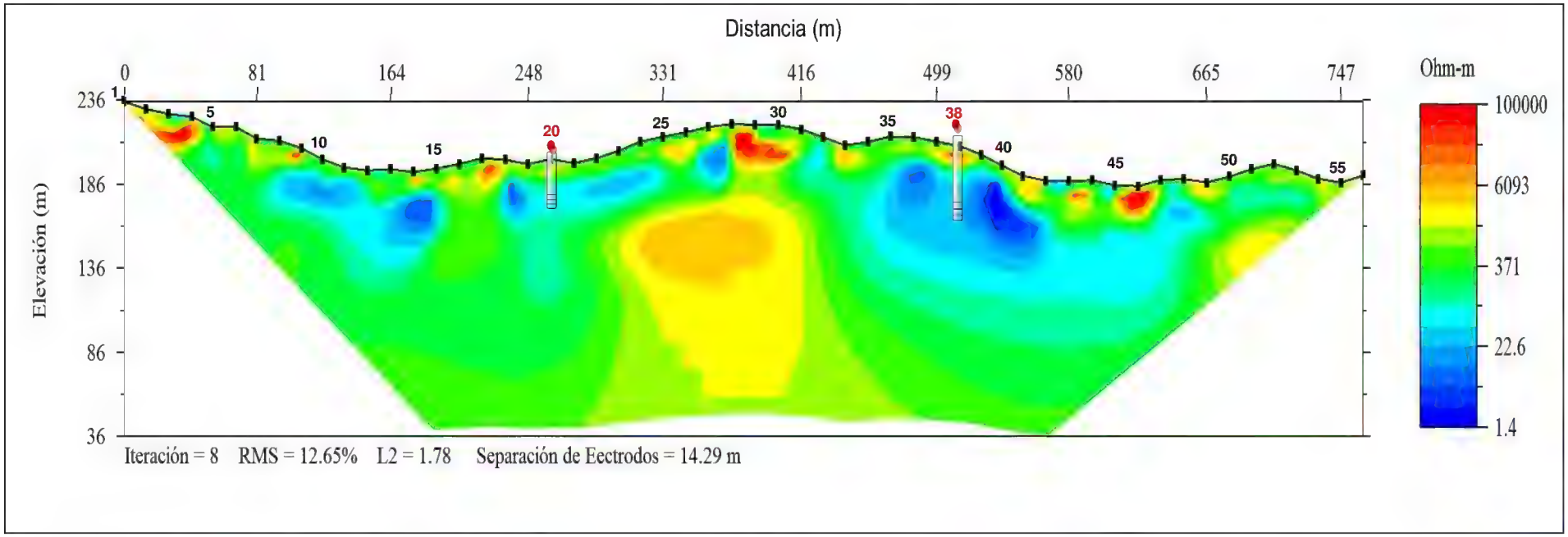
El segundo sector acuífero ocurre entre los electrodos No. 18 y 28 donde su máximo espesor se reduce a 28.0 m debajo del Electrodo No. 20. Finalmente, en el sector Sur-Oriental de la citada Línea, entre los electrodos No. 34 y 49, donde debajo del electrodo No. 38 el Acuífero alcanza su mayor espesor, cercano a los 75.0 m. Por consiguiente, estos Acuíferos se sugiere monitorear con la construcción de dos (2) Piezómetros Ambientales a 28.0 y 75.0 m de profundidad, revestidos con tubería ciega y filtros PVC de 2.0 pulg de diámetro, instalando un tramo de filtros de 3.0 de longitud en la parte final del primer piezómetro y de 6.0 m en el último.

Por último, asociado a la superficie del terreno aparecen pequeños Depósitos Coluviales también del Cuaternario, conformados litológicamente por fragmentos de rocas de diferentes tamaños embebidos en matriz saprolítica, caracterizados por su coloración rojo intenso a pálido con aureolas amarillentas, los cuales reflejan valores de resistividad desde 4662.5 hasta 100000.0 Ohm-m, señalando así el alto grado de compactación de estos fragmentos de roca. Su litología permite considerarlos hidrogeológicamente como Acuícludos, es decir con ninguna posibilidad de almacenamiento de agua subterránea.

Estructuralmente, los resultados de la interpretación del sector donde se levanta la mencionada Línea 1 (01-G) cercano a la Garita de Campo Dorado, se caracteriza por no reflejar eventos tectónicos que modifiquen la secuencia estratigráfica allí existente. En esta línea se sugiere la construcción de dos piezómetros ubicados en los electrodos No. 20 y 38, con profundidades de 28 y 75 mts aproximadamente, la ubicación en planta se muestra en la Figura 5.3.

En la Tabla 5.1 se resume los resultados de la interpretación de la Línea 1 (01-G) cerca a la Garita de Campo Dorado, donde se define estratigráficamente las unidades Geológicas-Geoeléctricas existentes en el subsuelo del área prospectada, con su respectiva litología, espesores, rangos de resistividad y la condición hidrogeológica asociada a cada una de ellas, además de sus condiciones estructurales.

PERFIL LINEA 01-GA



Convenciones: **Punto de Perforación Sugerido.**

Figura 5.2. Imágenes Correspondientes a la Prospección Geoeléctrica Continua de la Línea 1 (01-G) levantada Cerca a la Garita de Campo Dorado en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

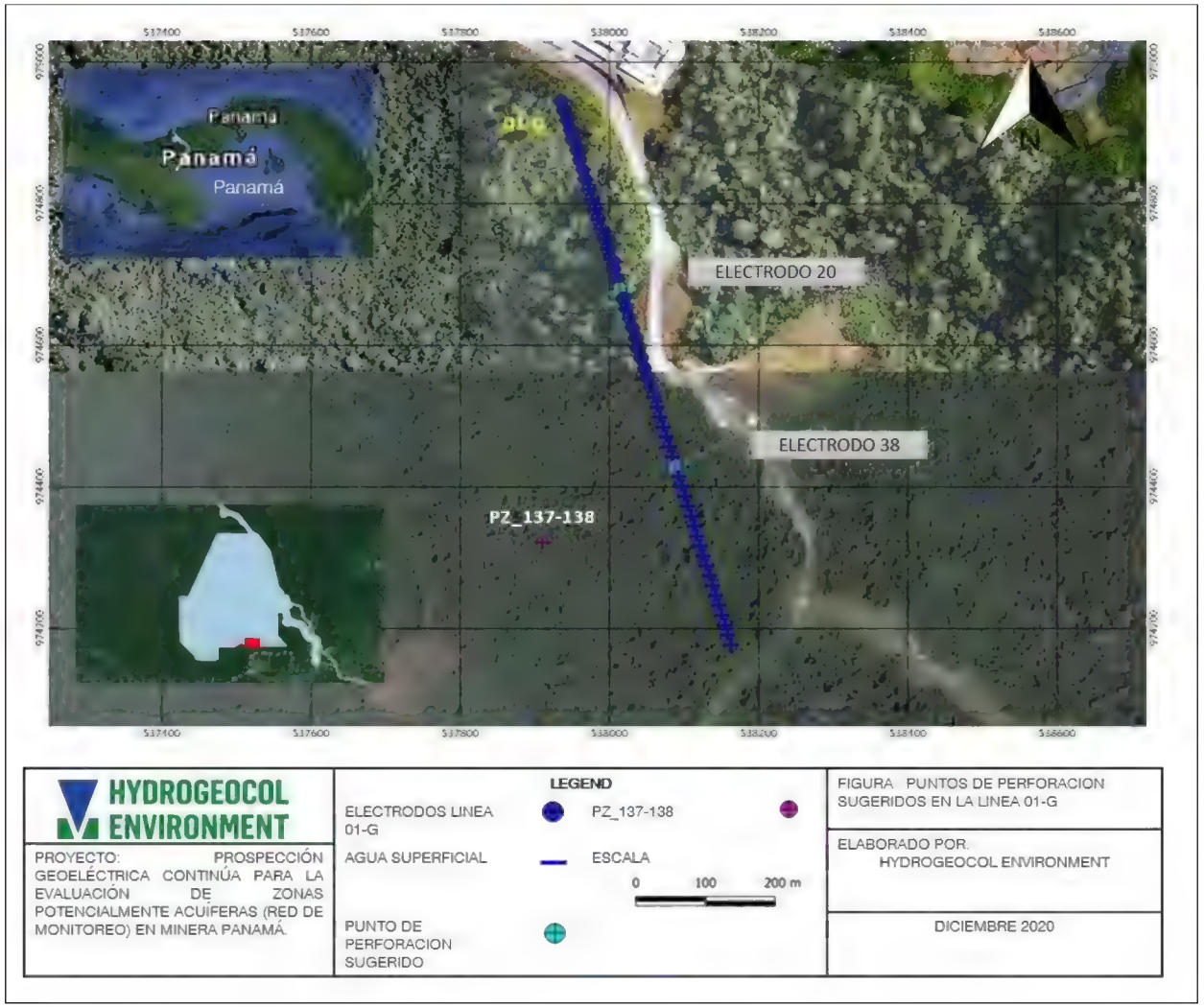


Figura 5.3. Imagen de Planta del trazado de la Línea 1 (01-GA) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.1. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 1 (01-G) levantada Cerca a la Garita de Campo Dorado en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Intenso a Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas embebidos en matriz saprolítica	Depósitos Coluviales	2.0 – 10.0	4662.5 – 100000.0	**Acuicludo**. Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Pálido a Azul Oscuro	Arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño cantos y gravas con intercalaciones de arcilla y limos	Depósitos Aluviales en Paleocauces	10.0 – 75.0	22.6 – 196.9	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada a alta capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	50.0 – 150.0	196.8 – 1801.5	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso a Pardo Pálido	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	100.0 – 150.0	3232 - 6093	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.

5.2 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 2 (02 – T17)

Esta Línea de Geoeléctrica Continua se levanta hacia el sector Oriental del área investigada, en cercanías a la Torre 17, donde la firma Minera Panamá sugiere la construcción de un (1) piezómetro de monitoreo ambiental tipo múltiple, identificados con las siglas de PZ-133 -134.

La citada línea tiene una longitud de 800.0 m con un espaciamiento de electrodos de corriente de 14.28 m. para alcanzar una profundidad de investigación cercana a los 133.0 m. Se levanta en una dirección N20°W, donde el Electrodo No. 1 se ubica hacia la parte Nor-Occidental delimitado por las Coordenadas Norte: 982199.28 m y Este: 539303.4, mientras el último Electrodo correspondiente al No. 56, se hinca al Sur-Oriente en las Coordenadas Norte: 981467.38 y Este: 539619.4. (Figura 5.4).

Figura 5.4. Localización y Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 2 (02 – T17), en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

En el modelo Geológico-Geoeléctrico (Figura 5.5) se diferencian principalmente cuatro (4) unidades, definidas por los valores de Resistividad Real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) del 10.23%, considerado confiable teniendo en cuenta la cercanía de esta línea, con respecto a las líneas alta tensión correspondientes a la Torre 17.

En la Figura 5.5 se observa de base a techo, la unidad más antigua la cual aparece en muy pequeños sectores aislados, representados por el color amarillo intenso asociado a valores de Resistividad entre 5307.0 y 7556.0 Ohm-m. La interpretación de estos valores indica la ocurrencia del Saprock que representa la transición, por efectos de la meteorización, de la Granodiorita o Diorita fresca a roca con moderado grado de meteorización. Este Saprock con espesores desde 10.0 hasta 15.0 m, hidrogeológicamente se comporta como un Acuicludo, el cual a lo largo del Perfil aparece rodeado por Saprolito coligado al color verde a verde-amarillento. El anterior Saprolito ocurre en forma amplia en la parte inferior Central del Perfil entre los electrodos No. 14 y 56, hasta alcanzar la superficie del terreno, refleja valores de Resistividad desde 736.0 hasta 9801.0 Ohm-m con espesores entre 30.0 y 120.0 m, comportándose hidrogeológicamente como Acuicludo. Este Saprolito al ser erosionado por antiguas corrientes superficiales, constituye la base de Paleocauces, representados en el Perfil por los colores azul claro al azul oscuro.

Los mencionados Paleocauces corresponden a Depósitos Aluviales Cuaternarios depositados en las partes topográficas bajas del terreno por donde antiguamente transitaba una corriente superficial, cubiertos parcial y posteriormente por el material Saprolítico arrastrado desde las partes altas. Estos Depósitos Aluviales litológicamente se encuentran constituidos por arenas finas a gruesas que envuelven a fragmentos tamaño cantos y grava fina a gruesa que reflejan valores de Resistividad entre 66.5 y 736.0 Ohm-m. Por su constitución litológica, hidrogeológicamente esta Unidad se comporta como Acuífero con espesores entre 5.0 y 60.0 m.

Por último, asociado a la superficie del terreno aparecen de manera aislada muy pequeños Depósitos Coluviales del Cuaternario, litológicamente conformados por fragmentos de rocas de diferentes tamaños embebidos en matriz saprolítica. Se caracterizan por su coloración rojo intenso a pálido con aureolas amarillentas, manifestando los más altos valores de Resistividad desde 9100.8 hasta 100000 Ohm-m, como respuesta al alto grado de compactación de esos fragmentos de roca. Su litología permite considerarlos hidrogeológicamente como Acuícludos, es decir con ninguna posibilidad de almacenamiento de agua subterránea.

Estructuralmente, los resultados de la interpretación de la región donde se levanta la mencionada Línea 2 (T-17) cercano a la torre 17, se caracteriza por no reflejar Eventos Tectónicos que modifiquen la secuencia estratigráfica allí existente. En esta línea se sugiere la construcción de dos piezómetros ubicados en los electrodos No. 26 y 34, con profundidades de 30 y 70 mts aproximadamente, la ubicación en planta se muestra en la Figura 5.6.

En la Tabla 5.2, se resume los resultados de la interpretación de la Línea 3 (03 – P12) con los rangos de valores de Resistividad reflejados por las rocas ígneas Cretácicas y el material Cuaternario originado por sus diferentes grados de meteorización, los cuales conforman el subsuelo del área investigada.

PERFIL LINEA 02-T17

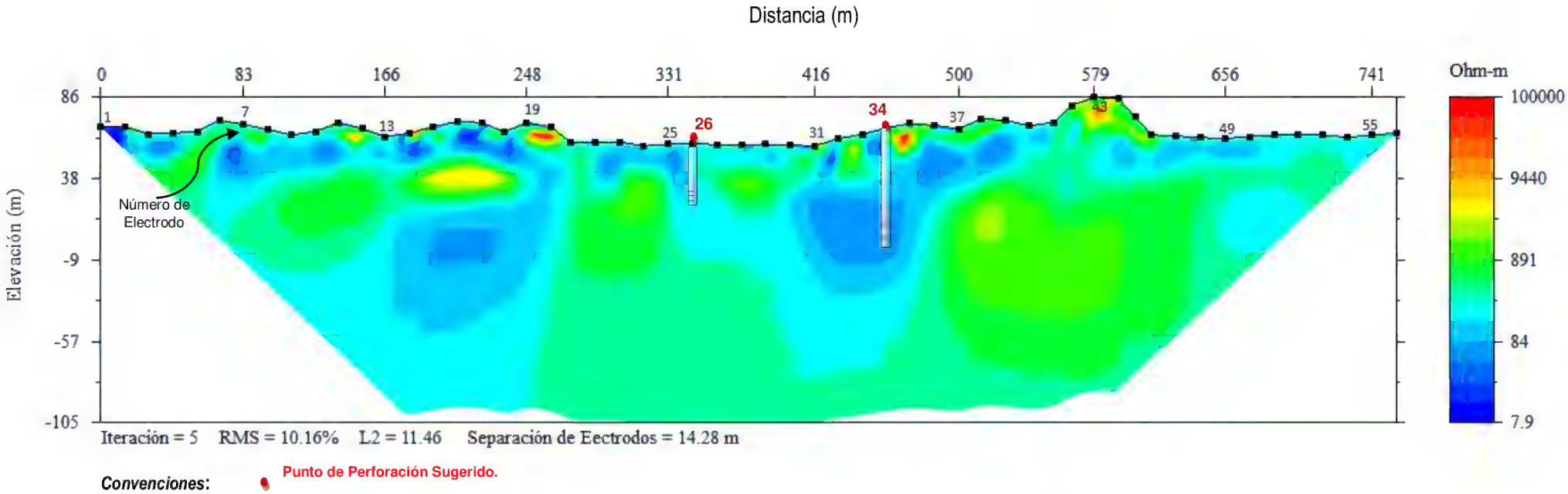


Figura 5.5. Imagen de Resistividad de la Línea 2 (02 – T17) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

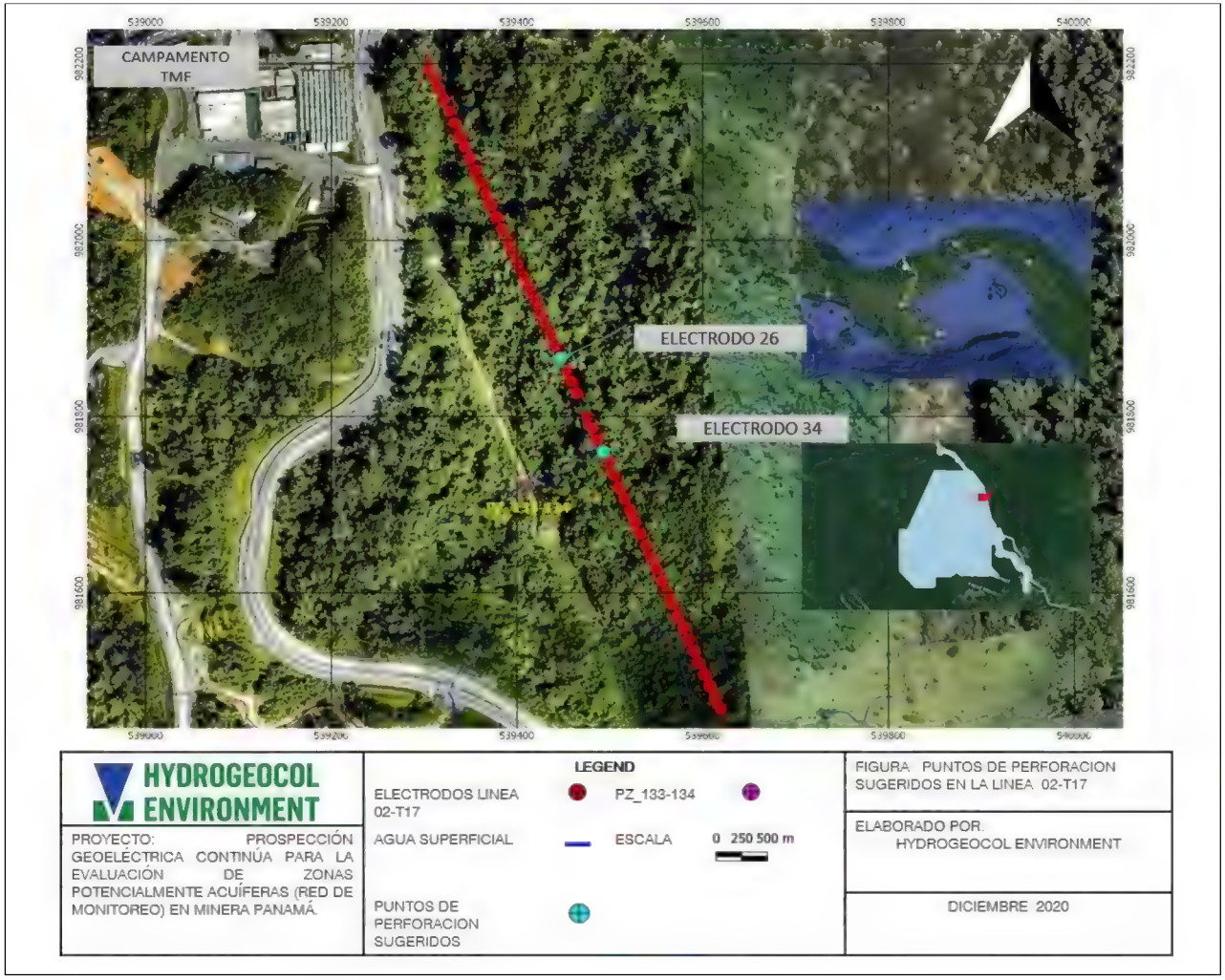


Figura 5.6. Imagen de Planta del trazado de la Línea 2 (02-T-17) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.2. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 2 (02 – T-17) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas ígneas embebidos en matriz saprolítica	Depósitos Coluviales	2.0 – 10.0	9100.8 – 100000.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Pálido a Azul Oscuro	Arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño cantos y gravas con intercalaciones de arcilla y limos	Depósitos Aluviales en Paleocauces	5.0 – 60.0	66.5 – 736.0	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada a alta capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	30.0 – 120.0	736.0 – 9801.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	10.0 – 15.0	5307.0 – 7556.0	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.

5.3 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 3 (03 - P12)

Esta Línea de Geoeléctrica Continúa identificada con la sigla Línea 3 (03 – P12), está localizada cerca de una estructura de almacenamiento de relave conocida como Poza 12. Por otra parte, en este sector, Minera Panamá contempla la construcción de un Piezómetro Múltiple identificado como GW-RB-001A y GW-RB-001B (139 -140). La citada Línea tiene una longitud de 600.0 m con un espaciamiento entre electrodos de corriente de 10.71 m, levantada con un rumbo N85°E, tratando de alcanzar una profundidad de investigación de aproximadamente 100.0 m. El Electrodo No. 1 se ubica hacia la parte Oriental, delimitado por las coordenadas Norte: 976312.55 m y Este: 540818.26, mientras el electrodo final No. 56, se hinca al Occidente en las coordenadas Norte: 976283.90 y Este: 540229.92 (Figura 5.7).

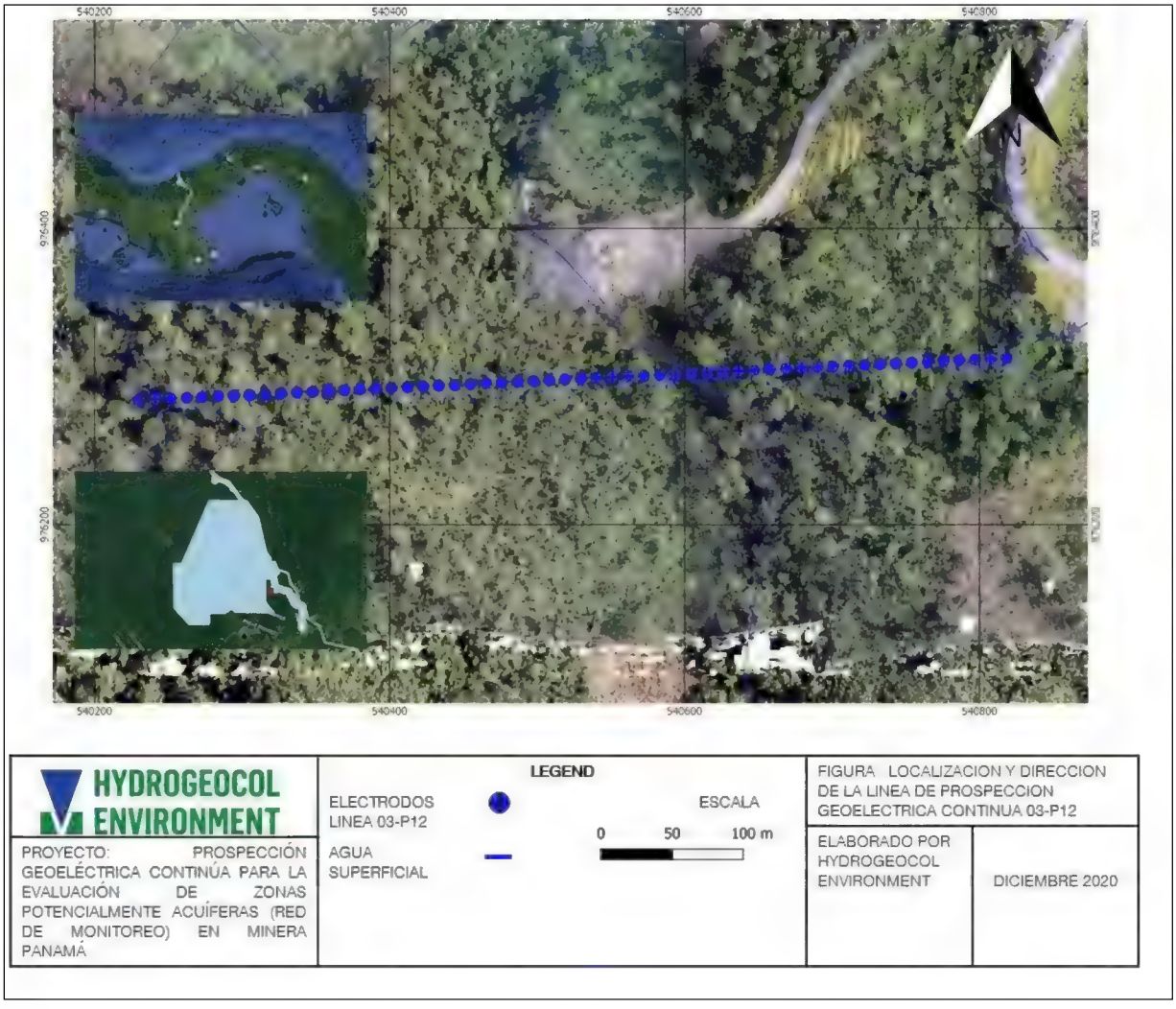


Figura 5.7. Localización y Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 3 (03 – P12), en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

En el modelo Geológico-Geoeléctrico (Figura 5.8) se diferencian principalmente cinco (5) unidades, definidas por los valores de Resistividad Real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) del 8.73%, considerado bueno teniendo en cuenta la intensa lluvia acontecida durante el levantamiento de la mencionada Línea.

En la Figura 5.8 se observa que la unidad Geológica-Geoeléctrica más antigua ocupa su parte inferior izquierda, caracteriza por su tonalidad rojo intenso a pardo pálido, reflejando los mayores valores de Resistividad presentes en el subsuelo a lo largo de ella, oscilando entre 3395.0 y 18800.0 Ohm-m. Estos valores son reflejados por rocas ígneas de composición granodioríticas o andesíticas fracturadas, al estar afectadas por una falla con rumbo N30°W que origina en la imagen un bloque Occidental levantado y otro Oriental hundido, con un desplazamiento vertical cercano a los 30.0 m, la cual muy posiblemente corresponde al tren de fallas que con esta dirección ocurre en el Tajo Botija. El cuerpo ígneo con espesor mayor de 100.0 m, por su alto grado de fracturamiento, hidrogeológicamente se puede comportar como un Acuífero con porosidad secundaria, pero de baja capacidad de almacenamiento de agua. También aparece de manera aislada y en menor proporción hacia la parte Sur-Oriental de la línea, desconociéndose si es producto de efectos tectónicos.

Bordeando al anterior cuerpo ígneo aparece la segunda unidad Geológica-Geoeléctrica representada por una aureola de color amarillo intenso a pardo pálido, correspondiente al Saprock o transición entre la roca ígnea fresca a Saprolito, con espesor entre 20.0 y 45.0 m que refleja resistividades desde 2000.0 hasta 3395.0 Ohm-m. Estos altos valores indican el poco espesor de la capa meteorizada, la cual por su muy fina litología hidrogeológicamente permite al Saprock como un Acuicludo, es decir con ninguna posibilidad de almacenamiento de agua subterránea.

La tercera unidad geológica-Geoeléctrica que cubre a las dos anteriores unidades, aparece representada por la gruesa secuencia arcillo-limosa correspondiente al Saprolito, simbolizado en la imagen por su coloración verde a verde amarillento reflejados por valores de resistividad desde 467.0 hasta 1308.0 Ohm-m, con espesores entre 15.0 y 140.0 m, la cual por su muy fina litología también se comporta como Acuicludo.

La cuarta unidad se encuentra representada por Depósitos Aluviales enterrados (Paleocauces), al estar cubiertos parcial o totalmente por Saprolito. Estos Depósitos Aluviales reflejan valores de resistividad entre 20.0 y 111.0 Ohm-m, simbolizados por tonos desde azul oscuro (limos) hasta azul pálido (arenas finas a gruesa hasta grava fina), conforman acuíferos libres a confinados con buena capacidad de almacenamiento de agua, especialmente donde desarrollan su mayor espesor, ocupando una serie de franjas aisladas y alargadas. Hacia el extremo izquierdo de la imagen el Depósito Aluvial se caracteriza por su poco espesor (entre 10.0 y 20.0 m). Cerca de su parte Central, donde ocurre la falla anteriormente descrita, entre los electrodos No 20 y 26, el mencionado depósito desarrolla un espesor de aproximadamente 40.0 m y por ello se sugiere construir debajo del Electrodo No. 23 un Piezómetro Ambiental a esa profundidad.

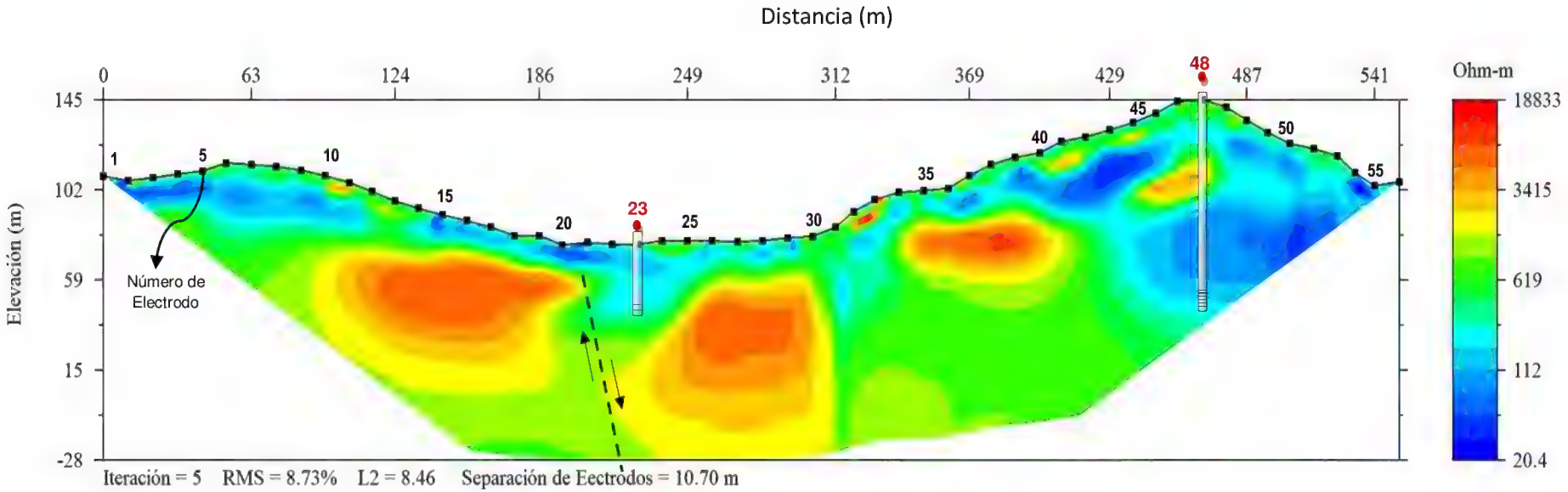
El mayor espesor ocurre entre los electrodos No. 40 y 56 donde varía desde 30.0 hasta los 130.0 m, razón por la cual aquí se sugiere construir un piezómetro en el Electrodo No. 48 a una profundidad de 100.0 m, con un tramo de filtro de 6.0 m de longitud instalado en su extremo inferior.

A lo largo de esta Línea 3 (03 – P12), la unidad Geológica-Geoeléctrica más reciente está representada por muy pequeños, escasos y aislados Depósitos Coluviales, conformados por fragmentos de rocas de poco tamaño y compactas embebidos en matriz saprolítica, con espesores que no sobrepasan los 2.0 m, reflejando valores de resistividad entre 3395.0.0 y 11097.0 Ohm-m, simbolizados por el color rojo pálido con aureolas amarillentas. Por tal razón hidrogeológicamente son interpretados como Acuicludo con muy baja a ninguna capacidad de almacenamiento de agua subterránea.

Con relación a la posibilidad de ocurrencia de una contaminación antrópica originada por la Poza 12 ubicada entre los electrodos No. 23 y 26, dicha contaminación puede eventualmente afectar al acuífero de tipo libre localizado entre los electrodos No. 20 y 26 que tiene un espesor de aproximadamente 40.0 m, situado en la zona de falla anteriormente descrita. De acuerdo a lo resultado, se sugiere la perforación de dos piezómetros en lo electrodos No. 23 y 48, con profundidades de 40 y 100 mts respectivamente como se muestra en la Figura 5.9.

En la Tabla 5.3, se resume los resultados de la interpretación de la Línea 3 (03 – P12) con los rangos de valores de Resistividad reflejados por las rocas ígneas Cretácicas y el material Cuaternario originado por sus diferentes grados de meteorización, los cuales conforman el subsuelo del área investigada.

PERFIL LINEA 03-P12



Punto de Perforación Sugerido.

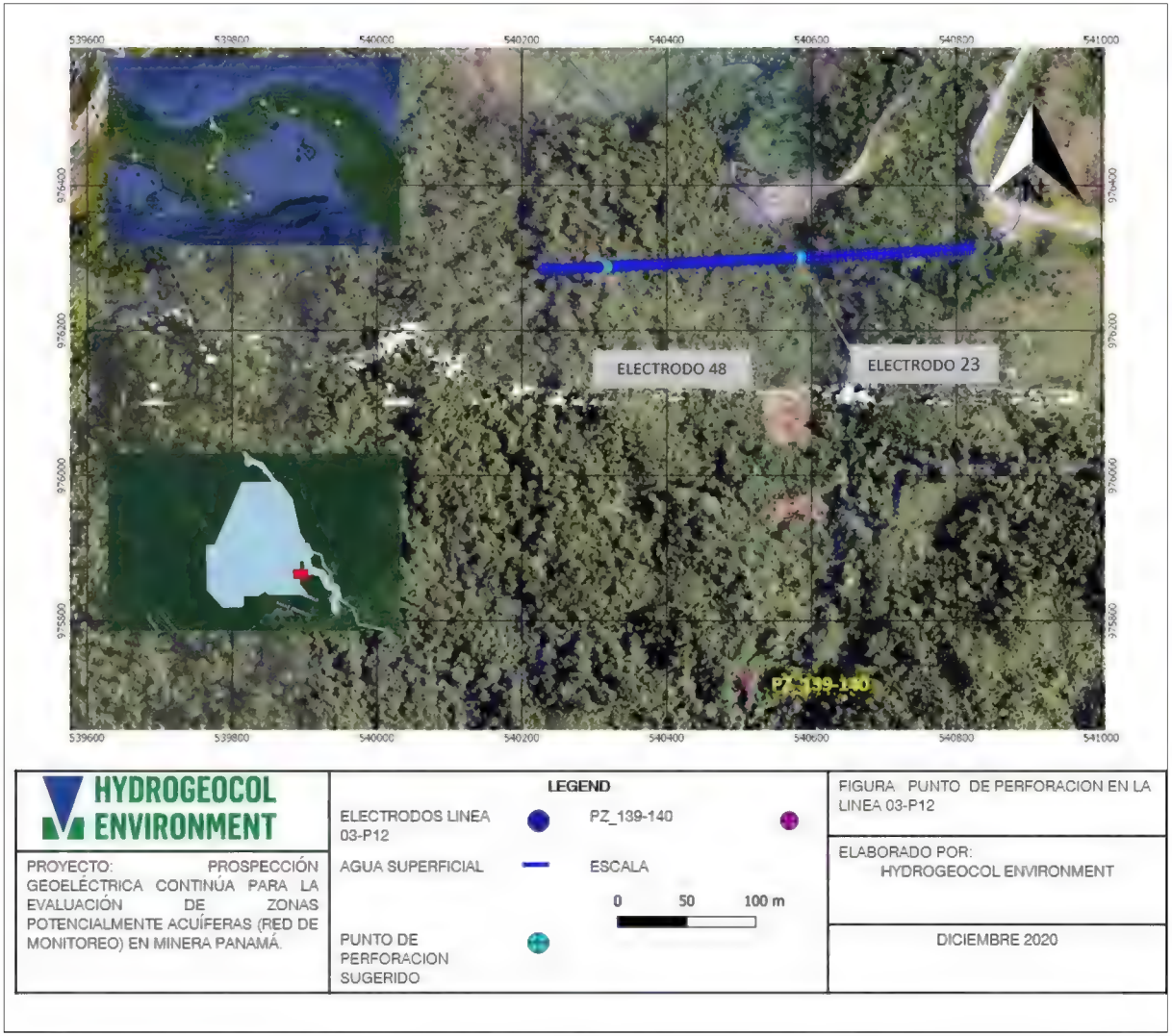


Figura 5.9. Imagen de Planta del trazado de la Línea 3 (03-P-12) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.3. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 3 (03 – P12) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas embebidos en matriz saprolítica	Depósito Coluvial	1.0 – 2.0	3395 – 11097	**Acuicludo** con muy baja a ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales en Paleocauces	10.0 – 130.	20 – 111	**Acuífero** con porosidad primaria. Buena capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	15.0 – 140.	487 - 1308	**Acuicludo**. Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso a Pardo Pálido	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	20.0 – 45.0	2000 - 3395	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Rojo a Rojo Intenso	Roca compacta y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	3395 - 18800	**Acuicludo** con porosidad secundaria y baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.4 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 4 (04 - P4A)

Esta Línea de Geoeléctrica Continua se levanta en el sector Nor-Oriental del Tajo Botija, próxima a la estructura de almacenamiento de relave conocida como Poza 4A. Su longitud es de 450.0 m para alcanzar una profundidad de investigación cercana a los 75.0 m, con un espaciamiento de electrodos de corriente de 8.03 m. Es levantada con un rumbo de N65°W, donde el electrodo No.1 se ubica hacia la parte Nor-Occidental (Figura 5.10) delimitado por las coordenadas Norte: 977924.81m y Este: 539508.01, mientras el último electrodo correspondiente al No. 56, se instala al Sur-Oriente en las coordenadas Norte: 978050.33 y Este: 539080.68 (Figura 5.10).

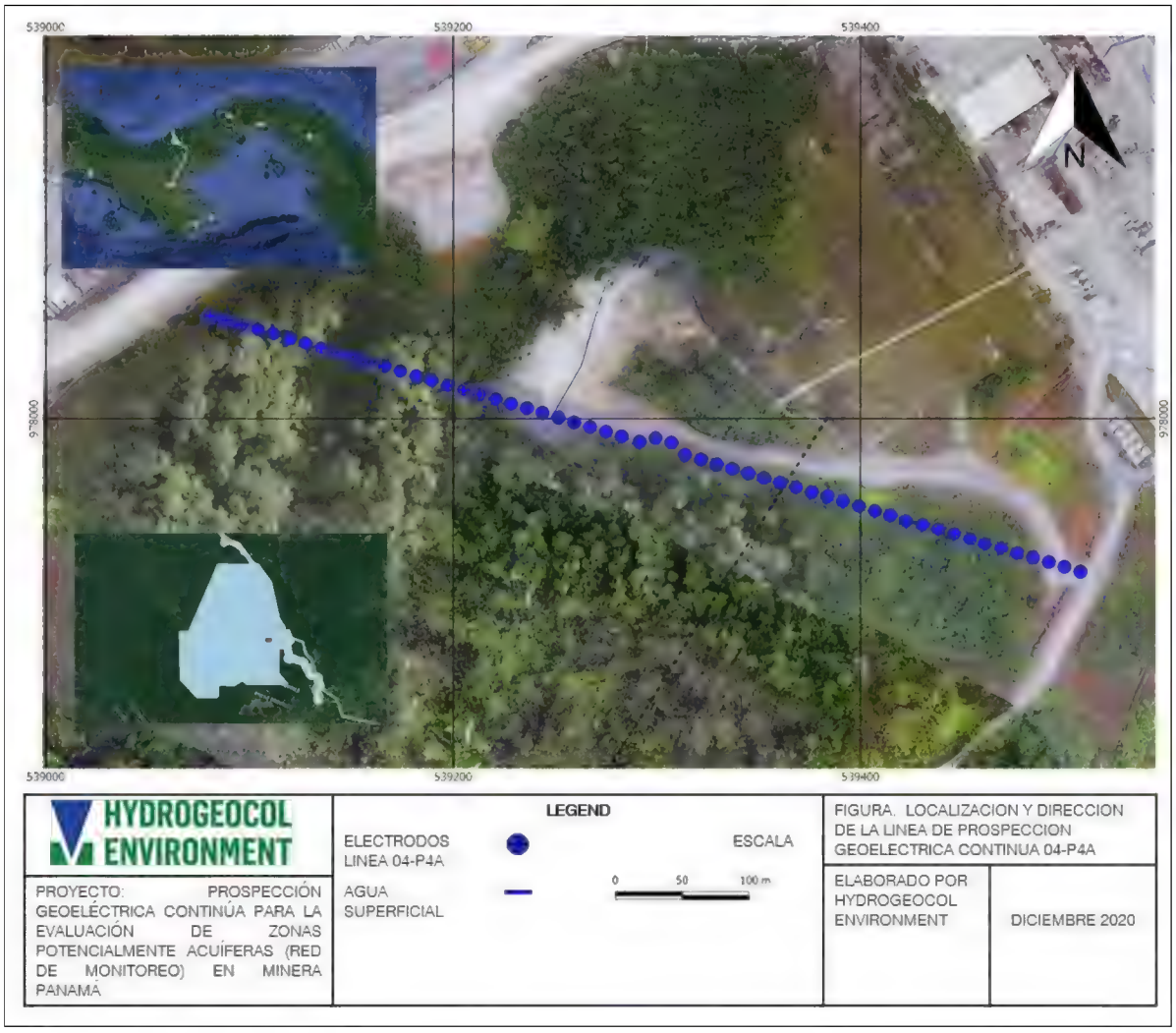


Figura 5.10. Localización y Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 4 (04 – P 4A), en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

El Modelo Geológico-Geoeléctrico obtenido (Figura 5.11) presenta un Error Medio Porcentual (RMS) de 7.70%, razón por la cual los resultados de la interpretación se consideran confiables.

Este modelo muestra claramente la presencia de cinco (5) unidades Geológicas-Geoeléctricas definidas por su comportamiento frente a la corriente inducida, representadas por rocas antiguas, que son afectadas por eventos tectónicos, cubiertas por capas de sedimentos producto de efectos de meteorización y depositación en ambientes aluviales y coluviales.

La unidad Geológica-Geoeléctrica más antigua ocupa la parte inferior izquierda de la Línea, caracterizada por su tonalidad rojo intenso a pardo pálido que refleja los mayores valores de resistividad del subsuelo, entre 1270.0 y 3200.0 Ohm-m, interpretados según la geología del área, como la presencia de rocas ígneas de composición granodioríticas o andesíticas fracturadas, al hallarse afectadas por una falla con rumbo NW donde se detecta un bloque Occidental levantado y otro Oriental hundido que no aparece en la imagen, al presentar un desplazamiento vertical de al menos 60.0 m. Esta falla también se puede asociar al tren de fallas que ocurre en el Tajo Botija e igualmente puede ser la continuación hacia el Sur de la falla detectada en la Línea 3 (03 –P12). Al mencionado cuerpo ígneo se le asigna un espesor mayor de 100.0 m, y por su alto grado de fracturamiento hidrogeológicamente se puede comportar como un acuífero con porosidad secundaria, pero de baja capacidad de almacenamiento de agua.

En la parte superior del anterior cuerpo ígneo, aparece la segunda unidad Geológica-Geoeléctrica representada por una delgada aureola de color amarillo intenso a pardo pálido, que refleja resistividades desde 380.0 hasta 636.0 Ohm-m que corresponde al Saprock o transición entre la roca fresca a Saprolito con espesor entre 30.0 y 80.0 m la cual, por su muy fina composición litológica, hidrogeológicamente se comporta como un Acuicludo. Hacia la parte superior se desarrolla una gruesa secuencia arcillo-limosa correspondiente al Saprolito, simbolizado en la imagen por su coloración verde a verde amarillento que reflejan valores de resistividad desde 125.0 hasta 150.0 Ohm-m con espesores entre 25.0 y 100.0 m, el cual por su litología igualmente se comporta como Acuicludo.

La cuarta unidad se encuentra representada por una serie de franjas alargadas y aisladas simbolizadas por tonos azul oscuro a azul pálido que reflejan valores de resistividad entre 5.0 y 75.0 Ohm-m, interpretadas como Depósitos Aluviales enterrados (paleocauces) al estar cubiertos parcialmente por Saprolito y litológicamente compuesto por arcillas y limos (azul oscuro) hasta arenas fina a gruesa (azul pálido). Sus espesores oscilan desde 10.0 hasta 40.0 m, conformando acuíferos generalmente de tipo confinado, con moderada a buena capacidad de almacenamiento de agua.

A lo largo de la Línea 4 (4-P4A), el Acuífero Depósitos Aluviales aparece en seis (6) sectores comprendidos de izquierda (NW) a derecha (SE), entre los siguientes electrodos. El primero entre los No. 1 y 5 donde el máximo espesor alcanza los 30.0 m. El segundo sector acuífero está comprendido por los electrodos No. 9 y 13 con espesor igualmente de 30.0 m y el tercero entre los No. 17 y 26 también con profundidad aproximada a los 30.0 m, advirtiendo que en estos dos (2) últimos sectores, donde durante el período de intensas lluvias el rebose de la Poza 4A los afecta directamente y pueden verse contaminados, razón por la cual se sugiere construir un Piezómetro Ambiental de 20.0 m de profundidad ubicado en el Electrodo No. 11 y otro de 30.0 m en el Electrodo N. 20, ambos con igual diseño a los anteriormente descritos.

Los otros tres (3) sectores donde ocurre el Acuífero Depósito aluvial, se ubican entre los electrodos No. 29 y 31 donde desarrolla un espesor de 40.0 m, entre los electrodos No. 35 y 41 con espesor de 30.0 m y finalmente entre los electrodos No. 47 y 51 con espesor de 40.0 m.

Finalmente, la unidad Geológica-Geoeléctrica más reciente está representada por pequeños Depósitos Coluviales aislados que afloran a lo largo de la línea de prospección, los cuales reflejan valores de resistividad entre 250.0 y 1918.0 Ohm-m, simbolizados por tonos rojos con aureolas amarillas, conformados por fragmentos

de rocas de diversos tamaños embebidos en matriz saprolítica o por material que conforma el terraplén allí construido. El espesor de estos depósitos no sobrepasa los 5.0 m. Hidrogeológicamente se clasifican como Acuicludos con muy baja a ninguna capacidad de almacenamiento de agua. De acuerdo a los resultados se sugiere la perforación de dos piezómetros en lo electrodos No. 11 y 20, con profundidades de 20 y 30mts respectivamente como se muestra en la Figura 5.12.

A continuación, se muestra la interpretación Geológica-Geoeléctrica de la mencionada línea de prospección identificada con la sigla Línea 4 (04 – P4A), y en la Tabla 5.4 se muestra de manera resumida sus resultados.

PERFIL LINEA 04-P4A

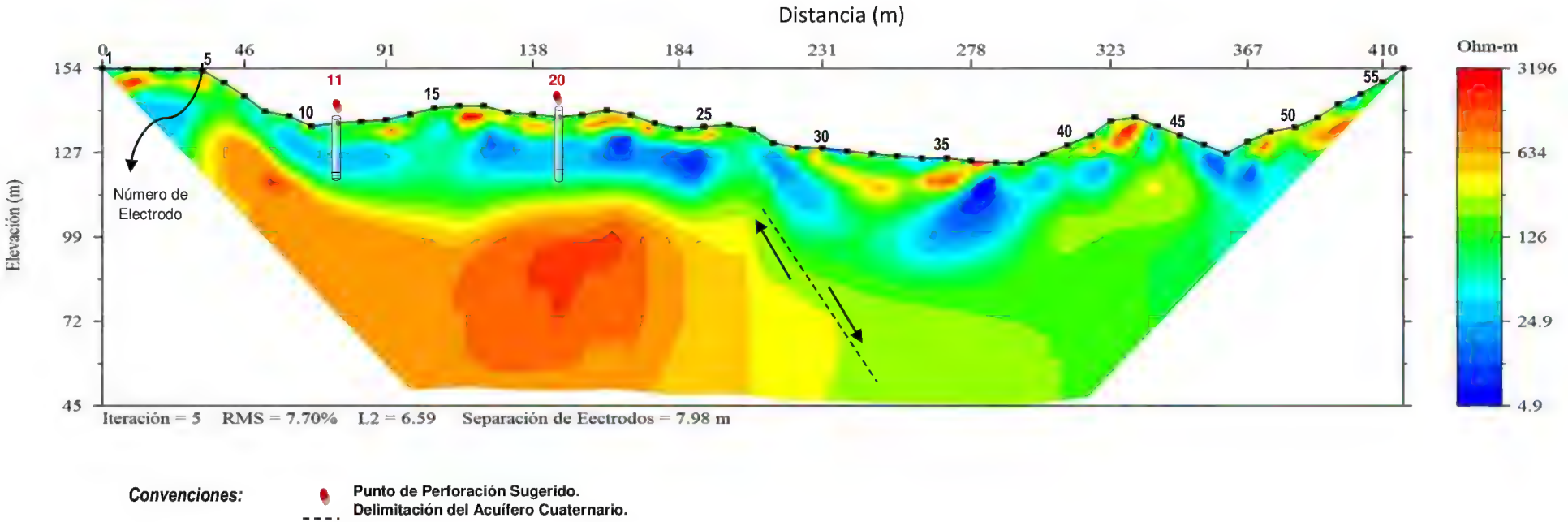


Figura 5.11. Imagen de Resistividad de la Línea 4 (04 – P4A) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

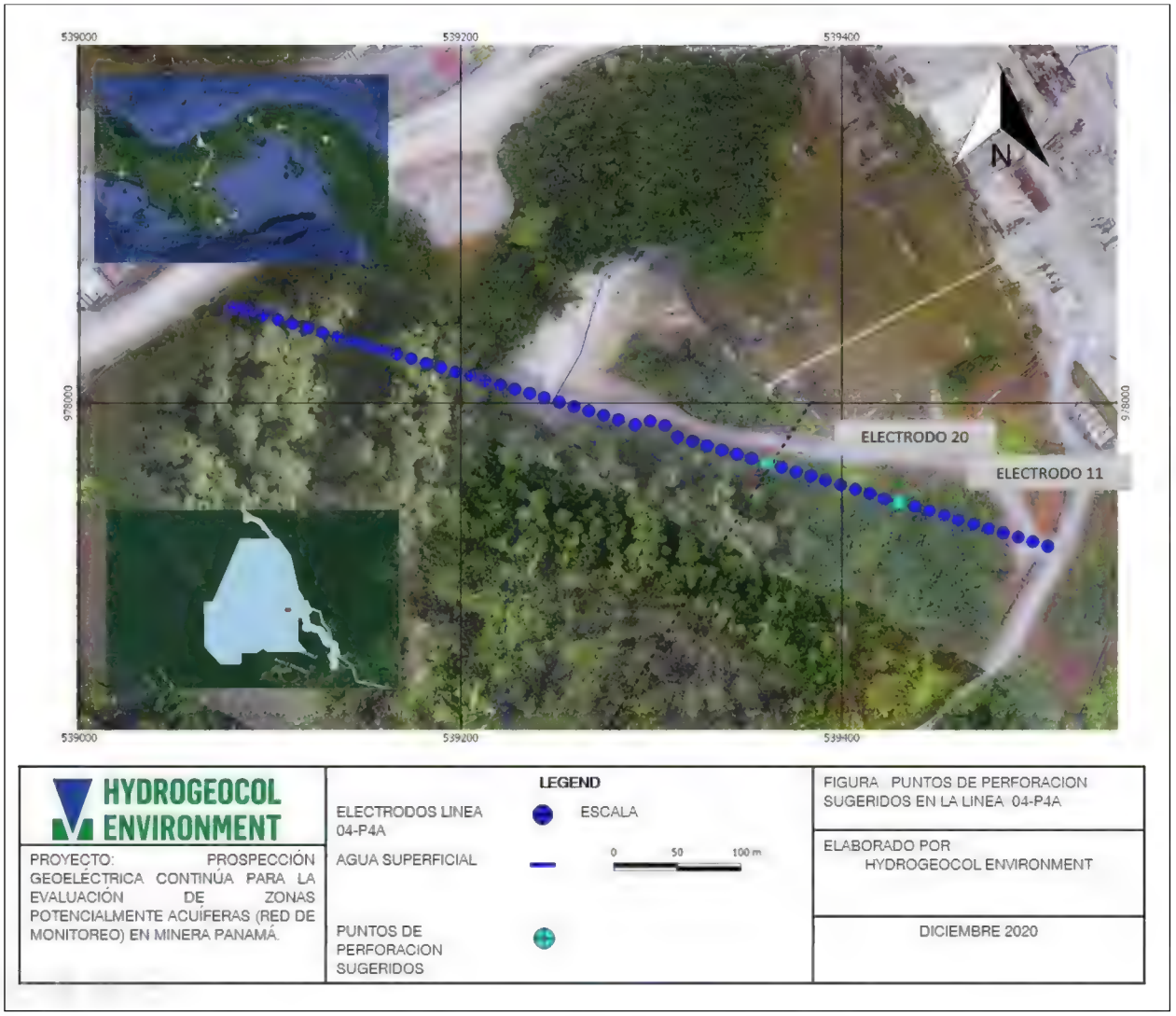


Figura 5.12. Imagen de Planta del trazado de la Línea 4 (04-P-4A) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.4. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 4 (04 – P4A) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas embebidos en matriz saprolítica	Depósitos Coluviales	1.0 – 5.0	250 – 1918	**Acuicludo** con porosidad primaria. Baja capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales en Paleocauces	10.0 – 40.0	5 – 75	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada a buena capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	25.0 – 100.0	125 - 250	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso a Pardo Pálido	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	30.0 – 80.0	380 - 636	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Rojo intenso a Pardo Pálido	Roca compacta y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	1270 - 3200	**Acuicludo** con baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.5 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 5 (05 – P14).

La Línea de Geoeléctrica Continúa identificada como Línea 5 (05 – P14), también se levanta en el sector Oriental del Tajo Botija, ubicada prácticamente en la parte Central entre las dos anteriores líneas 3 y 4. La citada línea de prospección se levanta con una dirección N85°W y longitud de 800.0 m, con un espaciamiento de electrodos de corriente de 14.28 m, para alcanzar una profundidad de investigación de aproximadamente 133.33 m, El Electrodo No. 1 se ubica hacia la parte Nor-Occidental delimitado por las coordenadas Norte: 977106.82 m y Este: 539864.88 mientras el último Electrodo correspondiente al No. 56, se ubica al Sur-Oriente en las coordenadas Norte: 977040.43 y Este: 5540647.28 (Figura 5.13).

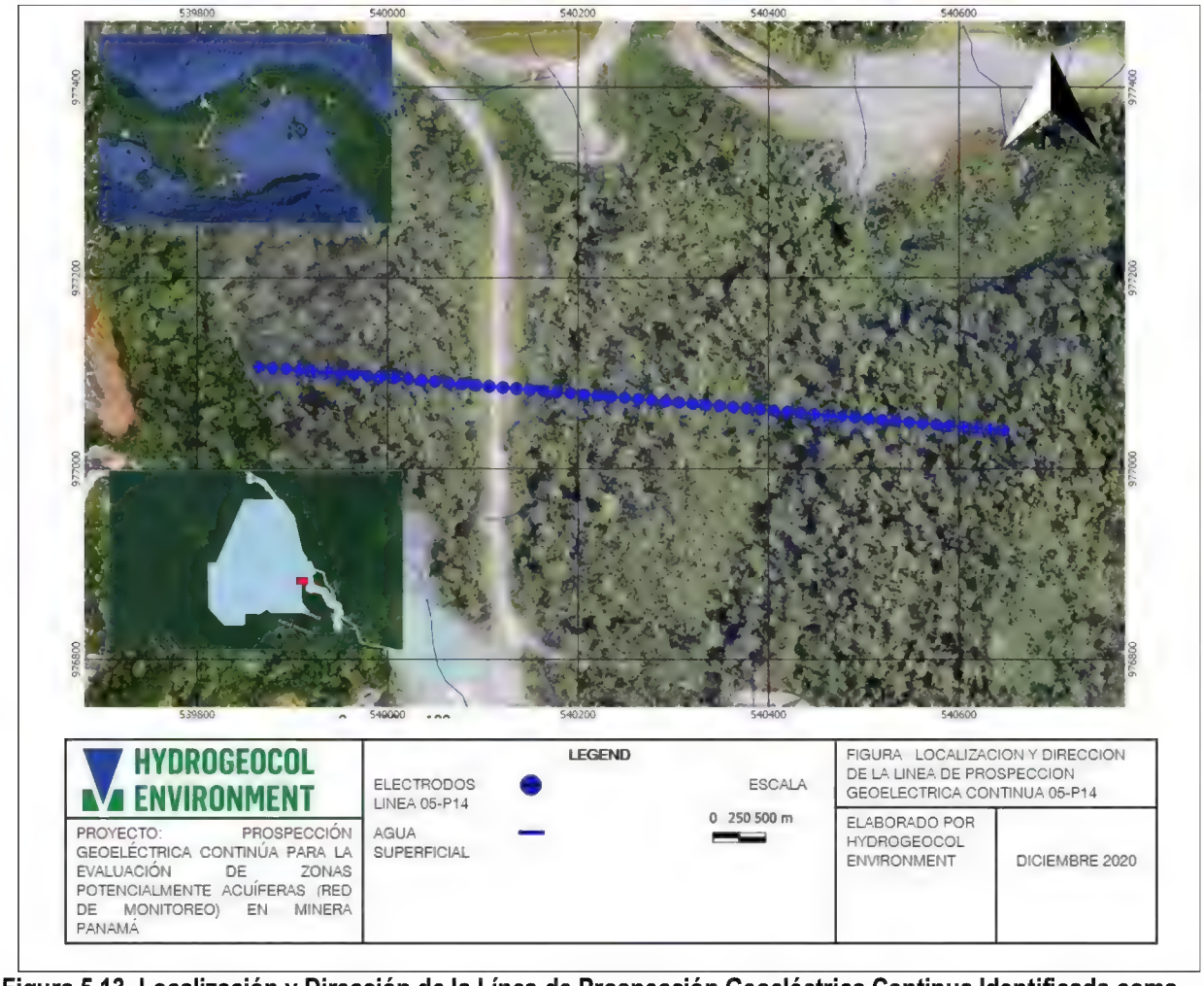


Figura 5.13. Localización y Dirección de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada como Línea 5 (05 – P14) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

La interpretación del modelo Geológico-Geoeléctrico es obtenido a partir de la imagen de la Figura 5.14, donde su Error Medio Porcentual (RMS) alcanza el 9.91%, valor considerado aceptable, producto de la alta saturación del suelo por la intensa lluvia ocurrida en el área, situación que origina una cierta carencia de datos obtenidos de resistividad aparente, pero los cuales no afectan de manera importante los resultados de la interpretación que se muestra en la Figura 5.14, observándose una buena correlación geológica y estructural con las obtenidas en las

Línea 3 (03 – P12) situada al Sur y la Línea 4 (04 – P4A) ubicada al Norte. Los resultados de su interpretación se presentan a continuación:

En la citada Figura, se pueden distinguir cinco (5) unidades Geológicas-Geoeléctricas, donde la más antigua ocupa los extremos izquierdos (en mayor magnitud) y derecho (en menor magnitud), simbolizada por el color rojo intenso a pardo pálido que reflejan valores de resistividad desde 360.0 hasta 1500.0 Ohm-m, representado la roca ígnea de composición granodiorítica o andesitica fracturadas y con cierto grado de meteorización. Este cuerpo ígneo en su conjunto aparece afectado tectónicamente mediante una falla de dirección NE con el bloque Oriental levantado y el Occidental parcialmente hundido. Hidrogeológicamente se comporta como un acuífero con porosidad secundaria, de baja capacidad de almacenamiento de agua.

Bordeando al anterior cuerpo ígneo aparece la segunda unidad Geológica-Geoeléctrica asociada al Saprock, que corresponde a la transición de la roca ígnea a la intensa meteorización de la misma. Está simbolizado por el color amarillo intenso a pardo pálido, reflejando valores de resistividad entre 223.0 y 360.0 Ohm-m y espesores entre 35.0 y 70.0 m. El Saprock por su fina litología hidrogeológicamente se comporta como un Acuicludo. El mencionado Saprock aparece cubierto por una capa espesa de Saprolito con espesor entre 35.0 y 220.0 m que refleja resistividades desde 53.9 hasta 223.5 Ohm-m, caracterizado por su tono Verde a Verde Amarillento e hidrogeológicamente considerado como un Acuicludo.

La cuarta unidad Geológica-Geoeléctrica está conformada por paleocauces que conforman Depósitos Aluviales de manera discontinúa a lo largo de la línea, donde aparecen cubiertos por Saprolito. Están simbolizados por tonos azul oscuro a azul pálido que corresponden a valores de resistividad desde 5.0 hasta 37.3 Ohm-m, desarrollando delgados espesores que oscilan desde 10.0 hasta 40.0 m: Su litología corresponde a arcillas y limo-arenoso hasta arenas finas a gruesa, clasificado hidrogeológicamente como Acuífero con moderada capacidad de almacenamiento de agua, considerado generalmente de tipo confinado.

A lo largo de la Línea 5 (05-P14) el Acuífero Depósitos Aluviales se encuentra entre los electrodos No. 12 y 18 donde el espesor alcanza los 30.0 m. Además, entre los electrodos No. 31 y 34 con espesor de 40.0 m y finalmente entre los electrodos No. 46 y 49 donde contiene un espesor de 30.0 m. para su monitoreo se sugiere la construcción de un (1) piezómetro ubicado en el Electrodo No. 15 con 30.0 de profundidad con 3.0 m de filtros localizados en el tramo final.

La quinta y última unidad geológica-geoeléctrica identificada, corresponde a pequeños Depósitos Coluviales de poco espesor (desde 5.0 hasta 15.0.0 m) que afloran de manera aislada a lo largo de la Línea, conformado por fragmentos de rocas de poco tamaño embebidos en matriz saprolítica, reflejando resistividades que varían desde 223.5 hasta 291.7 Ohm-m. Hidrogeológicamente este tipo de depósito por su compactación, matriz y tamaño, se comporta como Acuicludo. De acuerdo a los resultados se sugiere la perforación de dos piezómetros en lo electrodos No. 15 y 33, con profundidades de 30 y 40 mts respectivamente. En la Tabla 5.5 se resume el resultado de la interpretación, con los rangos de valores de resistividad reflejados por rocas ígneas altamente meteorizadas y los depósitos Cuaternarios que la cubren, los cuales conforman el subsuelo del área investigada.

LINEA 05-P14

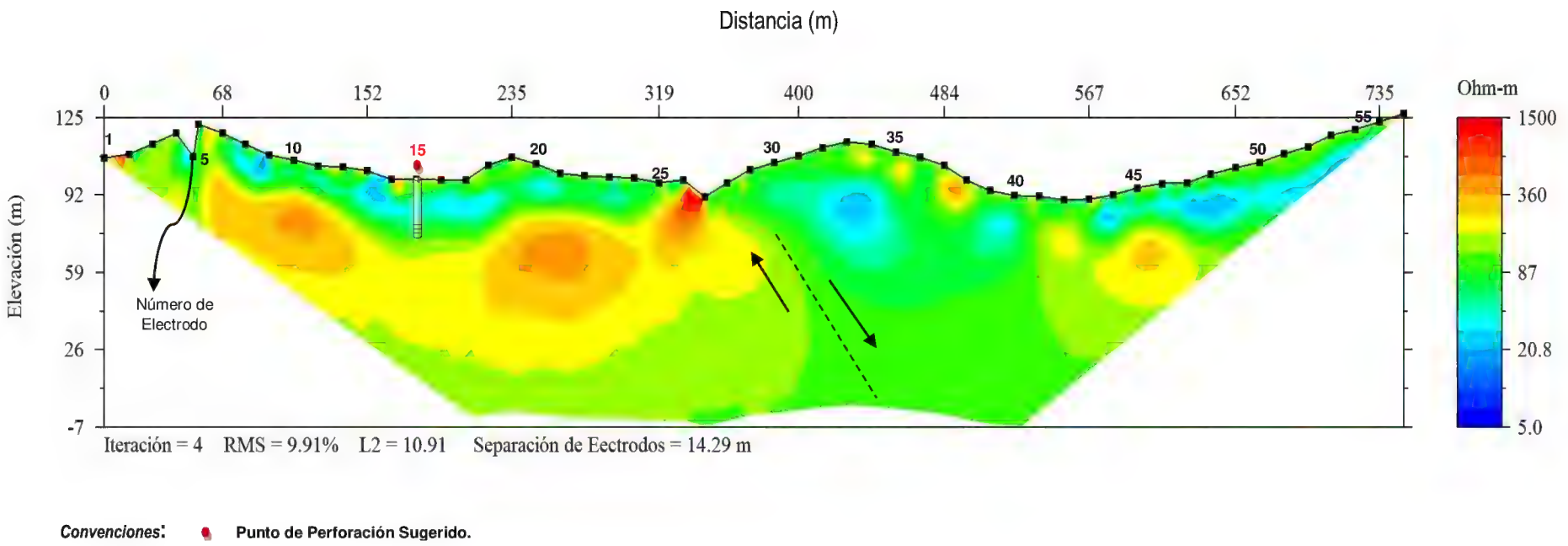


Figura 5.14. Imagen de Resistividad de la Línea 5 (05 – P14) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

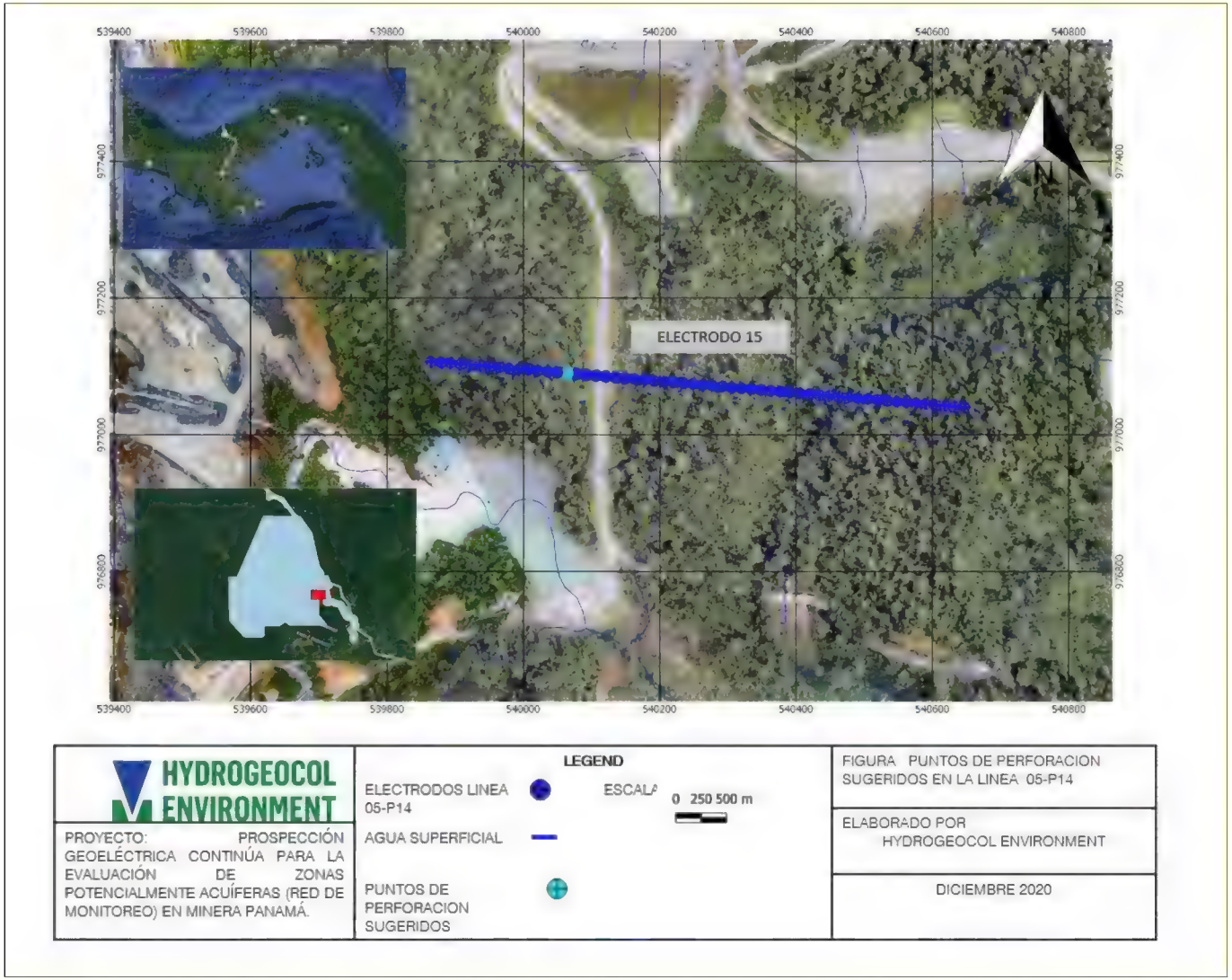


Figura 5.15. Imagen de Planta del trazado de la Línea 5 (05-P-14) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.5. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 5 (05 – P14) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas embebidos en matriz saprolítica	Depósito Coluvial	5.0 – 15.0	223.5 – 291.7	**Acuicludo**. Muy baja capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales	10.0 – 40.0	5.0 – 37.3	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	35.0 – 220.0	53.9 – 223.5	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso a Pardo Pálido	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	30.0 – 80.0	380 - 636	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Rojo intenso a Pardo Pálido	Roca compacta y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	360 - 1500	**Acuicludo**. con baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.6 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 6 (06 – T12)

Ésta línea se ubica en el borde Oriental de la vía que conduce a la Planta de Emulsión, inmediatamente al Norte de la Torre 12, con una dirección N30°W. En cercanías a esta área Minera Panamá sugiere la construcción de dos piezómetros múltiples identificados el primero con las siglas GW-QP-001 A y GW-QP-001 B (131 -132), y el segundo como GW-QCH-001 A y GW-CH-001 B (129 -130).

Según el estacado instalado en la respectiva trocha, su longitud es de 800.0 m con separación de electrodos de 14.28 m, para alcanzar una profundidad de investigación cercana a los 133.0 m. El electrodo No. 1 se coloca en el extremo Sur-Oriental delimitado por las coordenadas N: 980.044.7 m y Este: 539.949.1 y el último electrodo (No.56) en el extremo Nor-Occidental, en las coordenadas N: 980.705.3 y Este: 539.496.4. (Figura 5.16).

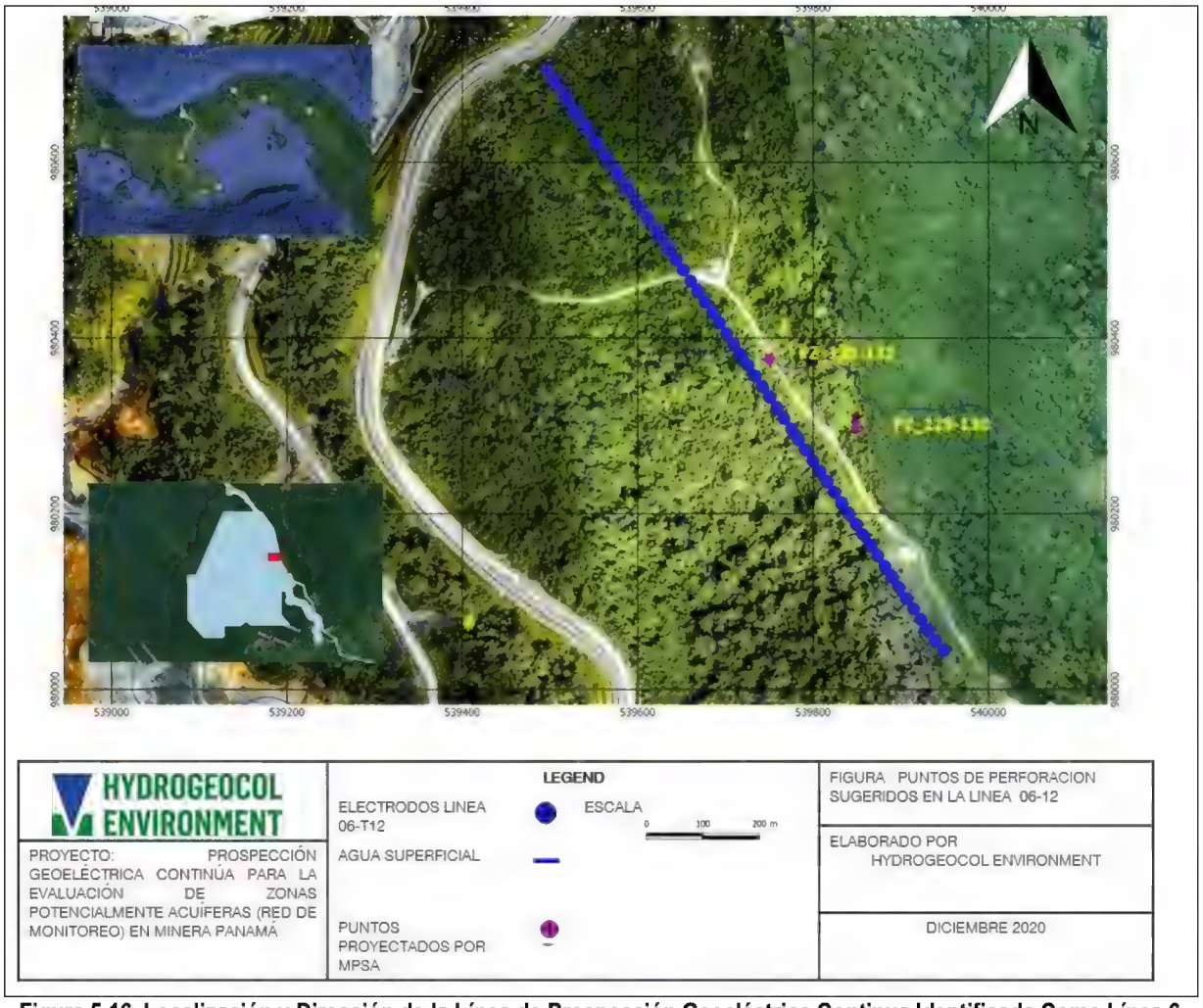


Figura 5.16. Localización y Dirección de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 6 (06 – T12) Cercana a la Planta de Emulsión en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

En el Modelo Geológico-Geoeléctrico en la imagen de la Figura 5.17, se diferencian principalmente cuatro (4) unidades, definidas por los valores de Resistividad Real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) del 7.25%, considerado confiable teniendo en cuenta la cercanía de la línea con las Torres de alta tensión.

En la Línea 6 (T-12), la Unidad Geológica-Geoeléctrica más antigua ocupa la franja media horizontal caracteriza por su tonalidad rojo intenso a pardo pálido rodeada por una aureola amarilla intensa, que refleja los mayores valores de Resistividad presentes en el subsuelo oscilando entre 2091.0 y 18142.0 Ohm-m. Estos valores son reflejados por rocas ígneas de composición Granodiorítica o Andesítica fracturadas, al estar afectadas por una falla con rumbo N30°W que origina en la imagen un bloque Occidental levantado y otro Oriental hundido, con poco desplazamiento vertical, la cual muy posiblemente corresponde al Sistema de Fallas Botija. El cuerpo ígneo con espesor mayor de 100.0 m, por su alto grado de fracturamiento hidrogeológicamente se puede comportar como un Acuífero con Porosidad Secundaria, pero de Baja Capacidad de Almacenamiento de agua. También aparece de manera aislada y en menor proporción hacia la parte Sur-Oriental de la Línea, desconociéndose si también es producto de efectos tectónicos.

Bordeando al anterior cuerpo ígneo aparece la segunda Unidad Geológica-Geoeléctrica representada por la aureola de color amarillo intenso a pardo pálido, correspondiente al Saprock o transición entre la roca ígnea fresca a Saprolito, con espesor entre 10.0 y 40.0 m, el cual refleja Resistividades desde 2091.0 hasta 2412.0 Ohm-m, comportándose hidrogeológicamente como Acuicludo.

La tercera Unidad Geológica-Geoeléctrica que cubre a las dos anteriores Unidades, aparece representada por la gruesa secuencia arcillo-limosa correspondiente al Saprolito, simbolizado en la imagen por su coloración verde a verde amarillento que ocupa la mayor parte del Perfil y manifestando valores de resistividad entre 278.4 y 843.7 Ohm-m, con espesores que pueden alcanzar los 200.0 m, la cual por su muy fina litología se comporta como Acuicludo.

La Cuarta Unidad se encuentra representada por los Depósitos Aluviales enterrados (Paleocauces), al estar parcial o totalmente cubiertos por Saprolito. Estos Depósitos Aluviales reflejan valores de resistividad entre 5.7 y 112.2 Ohm-m, simbolizados por tonos desde azul oscuro (limos) hasta azul pálido (arenas finas a gruesa hasta grava fina), con espesores entre 20.0 y 40.0 m, aquí no se sugiere construir Piezómetros.

En la Tabla 5.6, se resume los resultados de la interpretación de la Línea 6 (T-12) con los rangos de valores de Resistividad reflejados por las rocas ígneas Cretácicas y el material Cuaternario originado por sus diferentes grados de meteorización, los cuales conforman el subsuelo del área investigada.

LINEA 06-T12

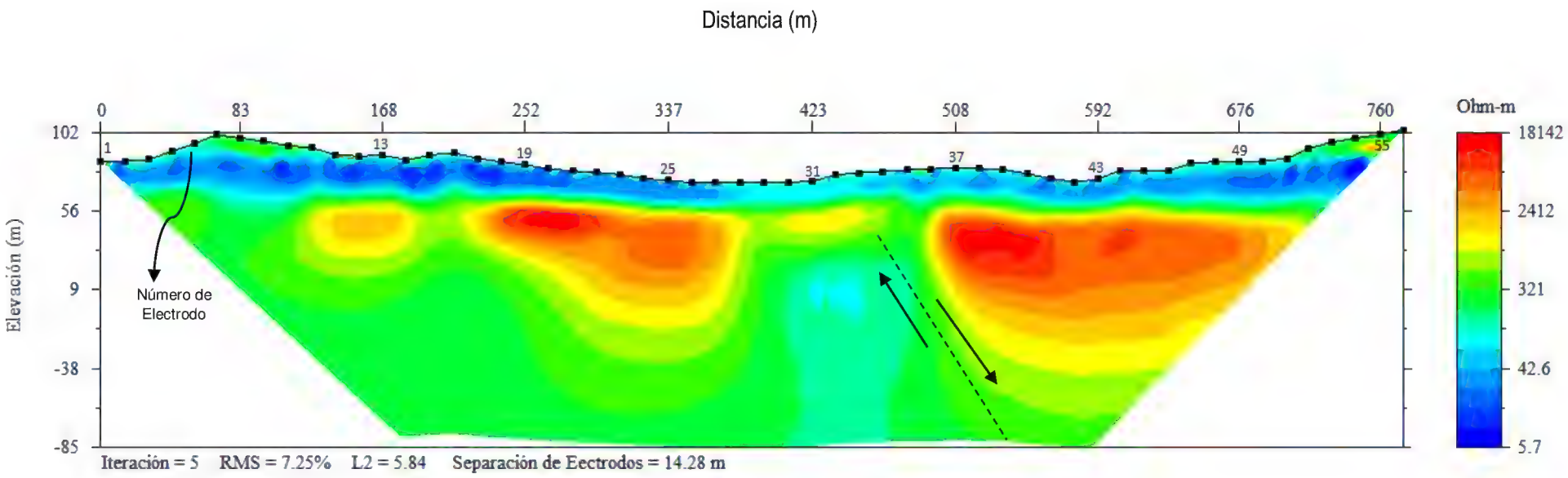


Figura 5.17. Imagen de Resistividad de la Línea 6 (06 – T12) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

Tabla 5.6. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 6 (06 – T12) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales en Paleocauces	20.0 – 40.0	5.7 - 112.2	**Acuífero** con porosidad primaria. Buena capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	15.0 – 140.	278.4 - 843.7	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso a Pardo Pálido	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	20.0 – 45.0	2091.0 – 2412.0	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Rojo a Rojo Intenso	Roca compacta Fallada y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	6344 – 18142	**Acuicludo.** con porosidad secundaria y Muy Baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.7 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 7 (07 – OA).

La citada Línea de Prospección de Geoeléctrica Continua se levanta en el borde Occidental de la vía que conduce a las oficinas de Ambiente del proyecto Mina de Cobre Panamá, a lo largo de una dirección N60°W. Tiene una longitud de 800.0 m con un espaciamiento de electrodos de corriente de 14.28 m, para alcanzar una profundidad de investigación de aproximadamente 133.33 m. El Electrodo No. 1 se ubica hacia la parte Nor-Occidental delimitado por las coordenadas Norte: 975.280.0 m y Este: 537.254.6, mientras el último Electrodo correspondiente al No. 56 se hinca al Sur-Oriente en las coordenadas Norte: 975.068.0 y Este: 537.812.28 (Figura 5.18).

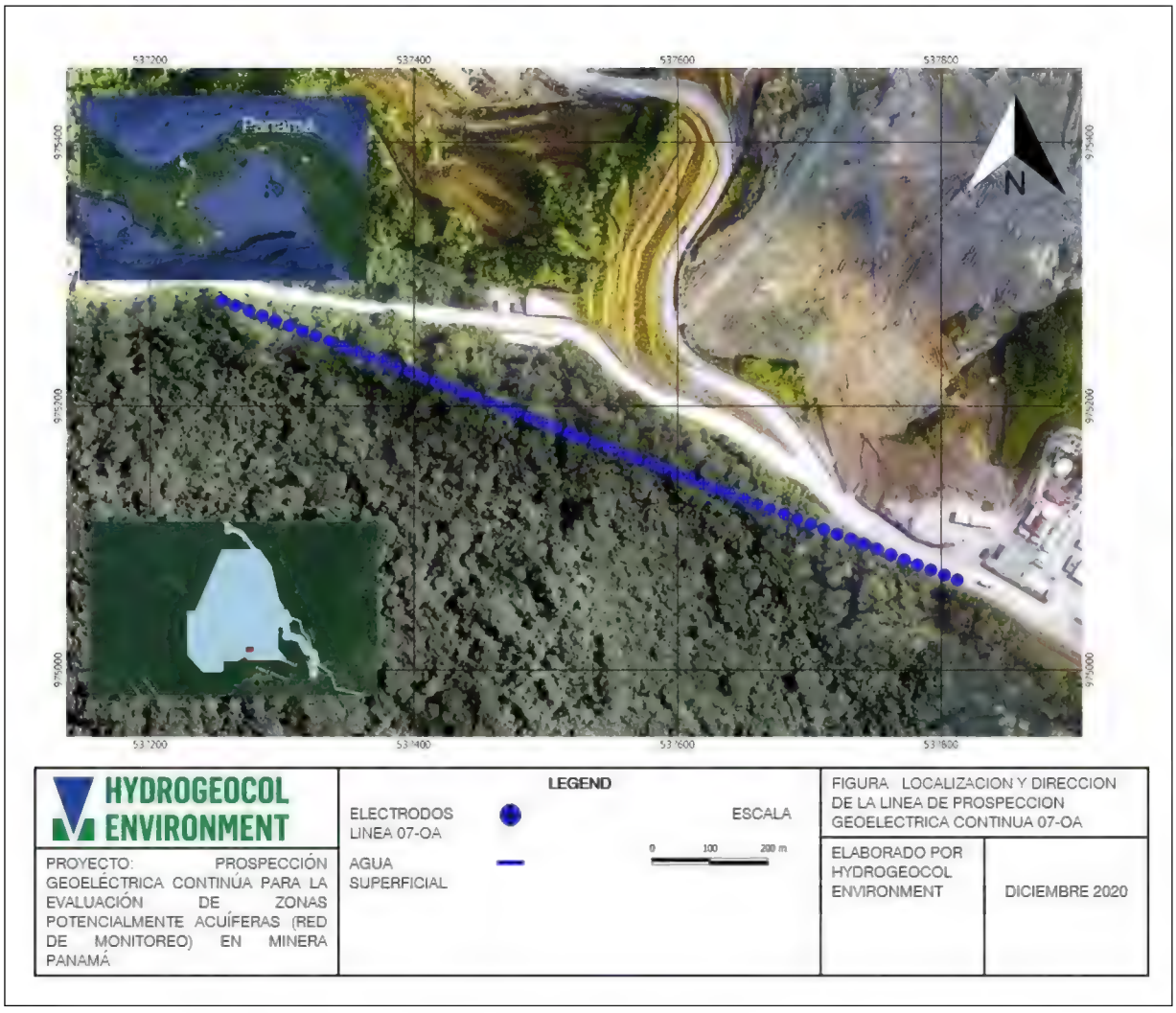


Figura 5.18. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 7 (07 – OA) en cercanías a las Oficinas de Ambiente en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

En el modelo Geológico-Geoeléctrico que se muestra en la Figura 5.19, se diferencian principalmente cinco (5) unidades, definidas por los valores de resistividad real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) moderado, del orden del 12.2%, razón por la cual los resultados de la interpretación que se presentan en la Tabla 5.7 son aceptables.

Esta situación es producto de las intensas lluvias ocurridas durante el levantamiento de la línea, que causan una sobresaturación tal del terreno que facilita en cierto porcentaje una difusión de la corriente eléctrica a través de la superficie húmeda, disminuyendo por consiguiente en esos sectores el ingreso de la corriente a mayor profundidad.

En la imagen de la Figura 5.19, utilizada para la interpretación, la unidad Geológica-Geoeléctrica más antigua aparece en el extremo Nor-Occidental de la Línea (extremo izquierdo), localizada entre los electrodos No. 1 y 3, correspondiente a un muy pequeño afloramiento simbolizado por el color rojo intenso a pardo pálido que refleja valores de resistividad entre 31306.7 y 100000.0 Ohm-m. Estos altos valores representan a un cuerpo ígneo constituido muy posiblemente por granodiorita o andesita fresca, hidrogeológicamente clasificada como Acuífero con porosidad secundaria por fracturas con baja capacidad de almacenamiento de agua.

La siguiente unidad está representada por el Saprock que equivale la transición del cuerpo ígneo (granodiorita o andesita) fresco, al mismo cuerpo meteorizado, el cual al parecer se encuentra en el fondo inferior izquierdo de la Línea, simbolizado por el color verde pálido amarillento, reflejando valores de resistividad entre 2632.5 y 4558.0 Ohm-m y espesor entre 50.0 y 110.0 m. Hidrogeológicamente se comporta como Acuicludo.

La anterior unidad aparece cubierta por una gruesa capa de Saprolito simbolizada en la imagen por el color verde a verde amarillento que refleja resistividades desde 545.1 hasta 707.0 Ohm-m, indicando con ello que está conformado por limo-arcilloso y arcilla- limosa o arenosa, desarrollando espesores entre 52.0 y 156.0 m. A lo largo de toda cubre al Depósito Aluvial y envuelve a núcleos que representan a Depósitos Coluviales. Hidrogeológicamente el Saprolito se comporta como Acuicludo.

La siguiente unidad Geológica-geoeléctrica está representada por los Depósitos Aluviales que como sucede en la Línea 1- (01-G) levantada inmediatamente al Sur-Oriente de esta, ocurren en varios sectores con espesores interesantes. Los Depósitos Aluviales aparecen cubiertos por Saprolito y por ello son considerados como paleocauces. Se encuentran simbolizados por la gama azul oscuro a azul pálido que reflejan resistividades desde 5.0 hasta 221.3 Ohm-m y por ello se interpretan como constituido por arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava fina, desarrollando espesores desde 25.0 hasta 100.0 m, clasificado hidrogeológicamente como Acuífero de tipo confinado, con buena capacidad de almacenamiento de agua.

A lo largo de esta Línea 7 (07 – OA), el Acuífero Depósitos Aluviales se encuentra en los siguientes cuatro (4) sectores delimitados por el número de los electrodos instalados durante el levantamiento topográfico. El primer sector ocurre entre los electrodos No. 8 y 12 donde el máximo espesor desarrollado es de 50.0 m. El segundo sector se muestra entre los electrodos No. 13 y 16 con espesor de 60.0 m. el tercero se presenta entre los electrodos No. 18 y 28 donde el espesor alcanza los 78 m y el cuarto y más importante sector acuífero ocurre desde el electrodo No. 30 hasta el No. 52 m, con espesor cercano a los 100.0 m.

Por considerarse este cuarto sector como el de mayor interés por su espesor y mejor capacidad de almacenamiento de agua subterránea, se sugiere construir aquí dos (2) piezómetros de monitoreo tanto del nivel estático y caudal como la calidad de su agua. Su profundidad será de 80.0 m cada uno en los sitios definidos por los electrodos No. 35 y 46, con tramos filtrantes de 6.0 m de longitud instalados al final del revestimiento.

Finalmente, asociado a la superficie del terreno aparecen pequeños Depósitos Coluviales también del Cuaternario con espesores de 2.0 a 10.0 m, conformados litológicamente por fragmentos de rocas de diferentes tamaños embebidos en matriz saprolítica, caracterizados por su coloración rojo intenso a pálido con aureolas amarillentas, los cuales reflejan valores de resistividad desde 8409.0 hasta 100000.0 Ohm-m, señalando así el alto grado de compactación de los fragmentos de roca. Esta litología permite considerarlos como Acuícludo, es decir con ninguna posibilidad de almacenamiento de agua subterránea.

Estructuralmente, los resultados de la interpretación del sector donde se levanta la Línea 7 (07 – OA) cercana a la Oficina de Ambiente, se caracteriza por no reflejar estructuras tectónicas relacionas con fallas que puedan modificar la secuencia estratigráfica allí existente. De acuerdo a los resultados se sugiere la perforación de dos piezómetros en lo electrodos No. 35 y 46, con profundidades de 80 mts aproximadamente, como se muestra en la Figura 5.19.

Por último, en la Tabla 5.8 se resume los resultados de la interpretación Geológica–Geoeléctrica de la mencionada Línea, donde se define estratigráficamente las unidades existentes en el subsuelo del área prospectada, con su respectiva litología, espesores, rangos de resistividad y la condición hidrogeológica asociada a cada una de ellas. Los resultados de esta Línea presentan una buena correlación Geológica-Geoeléctrica con los obtenidos a partir de la Línea 1 (01 – G) levantada inmediatamente al Sur, y por ello se considera confiable.

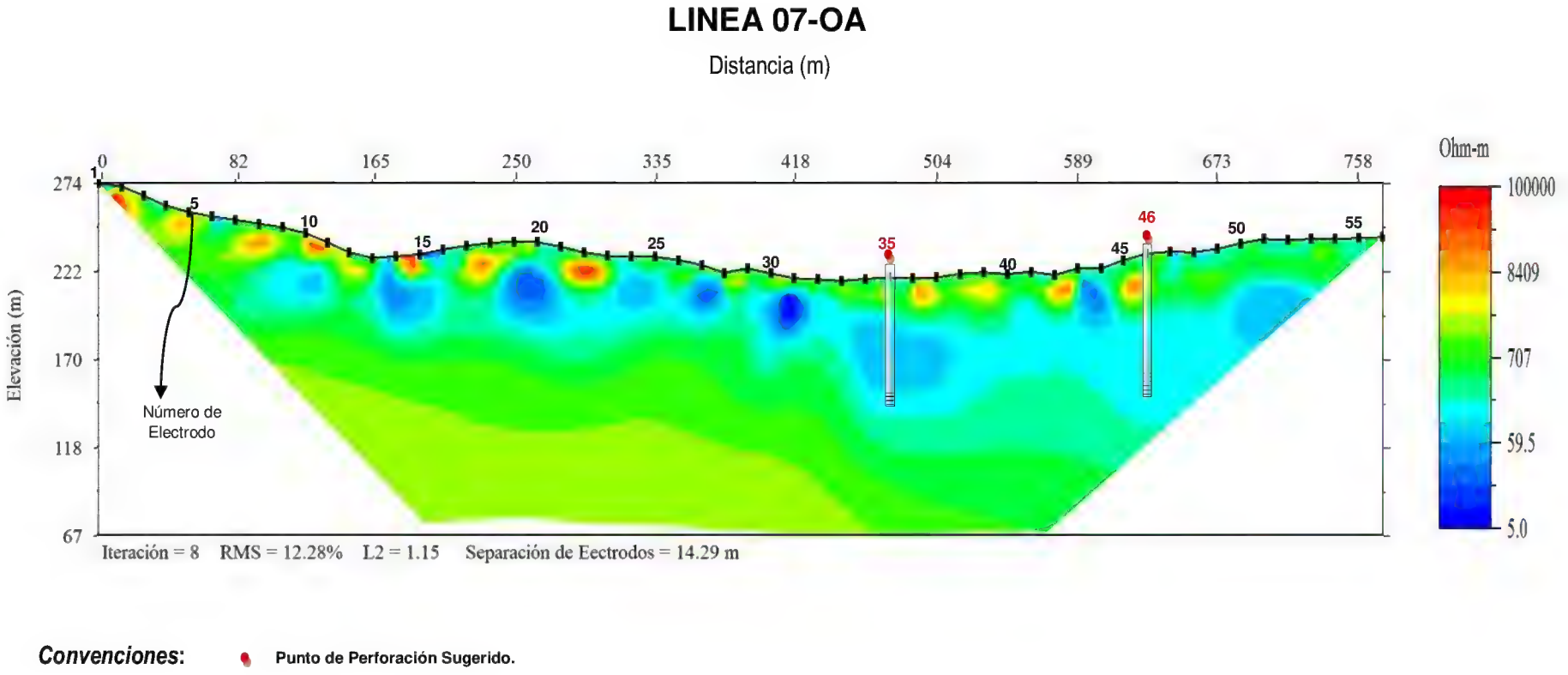


Figura 5.19. Imagen de Resistividad de la Línea 7 (07 – OA) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

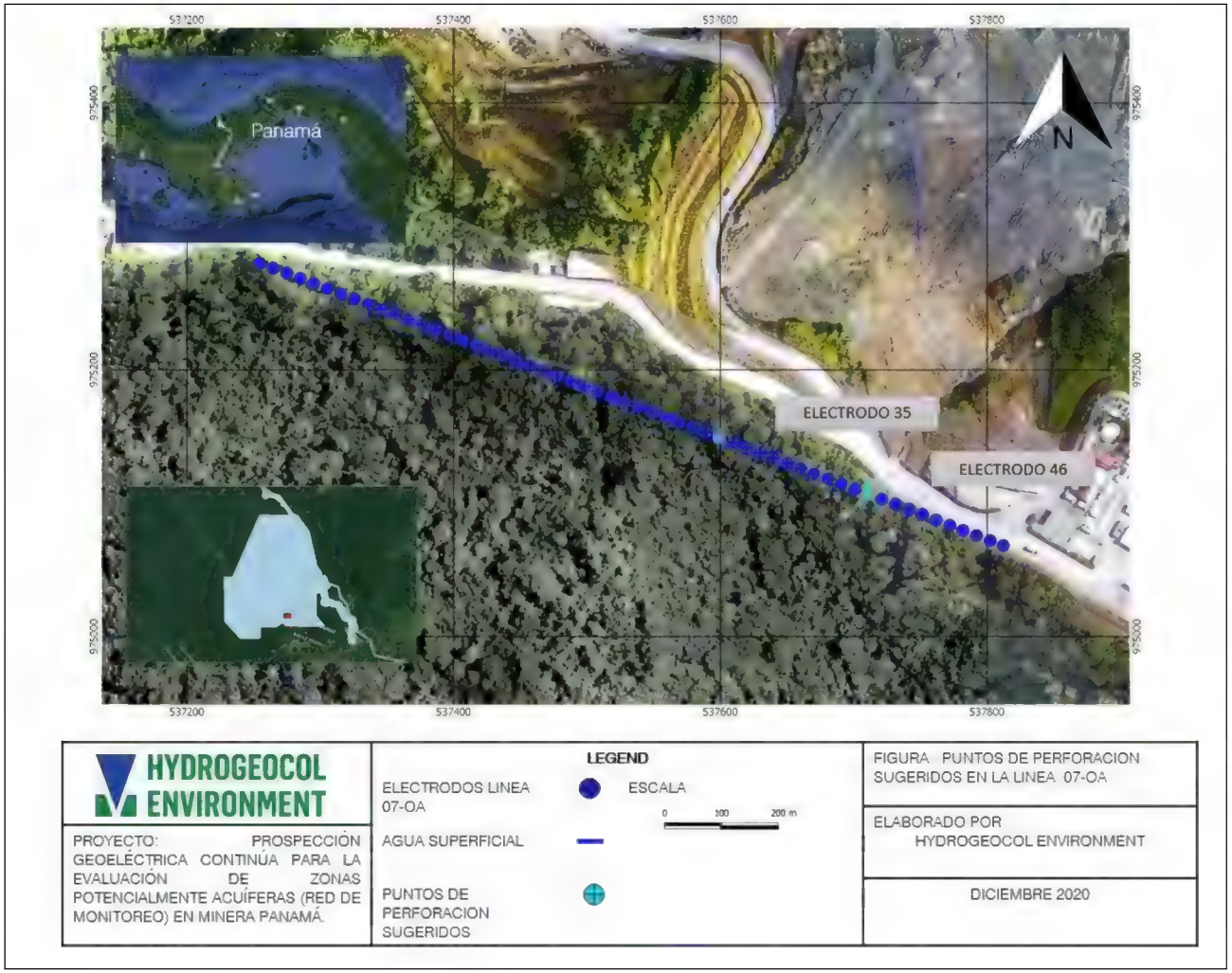


Figura 5.20. Imagen de Planta del trazado de la Línea 7 (07-OA) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.7. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 7 (07 – OA) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas embebidos en matriz saprolítica	Depósitos Coluviales	2.0 – 10.0	8409.0 – 100000.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales en Paleocauces	25.0 – 100.0	5.0 – 221.3	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	52.0 – 156.0	545.1 – 707.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Verde Pálido Amarillento	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	50.0 – 110.0	2632.5 – 4558.0	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Rojo intenso a Pardo Pálido	Roca compacta y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	31306 - 100000	**Acuicludo.** con porosidad secundaria y baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.8 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 8 (TMF – 01)

Esta línea de Geoeléctrica continua se levanta en el extremo noreste del área de estudio, exactamente al Noreste de la Presa Norte, su punto inicial se ubica en cercanías a la vía que conduce al Decanting Pond de la mina.

La citada línea tiene una longitud de 800.0 m con un espaciamiento de electrodos de corriente de 14.28 m. para alcanzar una profundidad de investigación cercana a los 133.0 m, Se levanta en una dirección N60°W, donde el Electrodo No. 1 se localiza por las Coordenadas Norte: 982817.8 m y Este: 535036.9, mientras el último Electrodo correspondiente al No. 56, se hinca en las Coordenadas Norte: 983180 y Este: 534339. (Figura 5.21).

Figura 5.21. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 8 (08 – TMF-01) en cercanías la vía que conduce al Decanting Pond de la mina ubicada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

En el Modelo Geológico-Geoeléctrico resultado de la interpretación de la respectiva imagen, que se muestra en la parte inferior de la Figura 5.22, se diferencian principalmente cuatro (4) Unidades, definidas por los valores de Resistividad Real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) Bueno, del orden del 4.51%, razón por la cual los resultados obtenidos que se presentan en la Tabla 5.8 son confiables

A partir de la citada Figura, se observa que de base a techo donde la Unidad más antigua aparece representada a lo largo del Perfil por un cuerpo ígneo de composición Granodiorítica o Andesítica afectado tectónicamente en su parte Central por una Falla con Rumbo aproximado N50°W localizada entre los electrodos No. 25 y 26, y muy probablemente asociada al Sistema de Falla de Botija, con su labio occidental levantado y el Oriental hundido. Este cuerpo ígneo aparece simbolizado por el color pardo pálido al rojo intenso que reflejan valores de Resistividad entre 1344.0 y 5803.0 Ohm-m, indicando una moderada a alta compactación de la roca fracturada, comportándose como Acuítardo con Porosidad Secundaria, con Baja Capacidad de Almacenamiento de agua, con espesor desde 20.0 hasta 100.0 m.

La siguiente Unidad en orden ascendente, aparece simbolizada por el color amarillo intenso que bordea a manera de aureola al cuerpo ígneo, equivalente al Saprock con espesor entre 5.0 y 40.0 m que manifiestan valores de Resistividad desde 486.7 hasta 772.4, indicando un moderado grado de meteorización, comportándose hidrogeológicamente por su litología como Acuicludo.

El anterior cuerpo ígneo aparece cubierto por una espesa secuencia de Saprolito con espesor entre 30.0 y 100.0 m, caracterizado en el Perfil por su color verde a verde amarillento conformado por un material de granulometría fina a muy fina producto de la intensa meteorización de la roca ígnea y por ello compuesto litológicamente por arcilla y limo-arcilloso, aflorando además en gran parte de la superficie del terreno. El Saprolito refleja valores de Resistividad desde 170.8 hasta 1143.0 Ohm-m, caracterizado hidrogeológicamente como Acuícludo.

Finalmente, a lo largo de la superficie del terreno se observan muy pequeños sectores conformado por aislados y delgados Depósitos Aluviales caracterizados por su coloración azul pálido a azul oscuro que reflejan resistividades entre 4.5 y 170.8 Ohm asociados a arena gruesa, arcilla, limo y arena gruesa hasta grava fina, desarrollando Acuíferos que, por su poco espesor, que no sobrepasa los 10.0 m, puede almacenar poca cantidad de agua. De acuerdo a los resultados se sugiere la perforación de dos piezómetros en lo electrodos No. 19 y 49, con profundidades de 25 y 15 mts aproximadamente, como se muestra en la Figura 5.22.

En la Tabla 5.8 se resume los resultados de la interpretación de la Línea 08 (TMF-01) localizada en cercanías a la vía que conduce al Decanting Pond de la mina, donde se define estratigráficamente las unidades Geológicas-Geoeléctricas existentes en el subsuelo del área prospectada, con su respectiva litología, espesores, rangos de resistividad y la condición hidrogeológica asociada a cada una de ellas, además de sus condiciones estructurales.

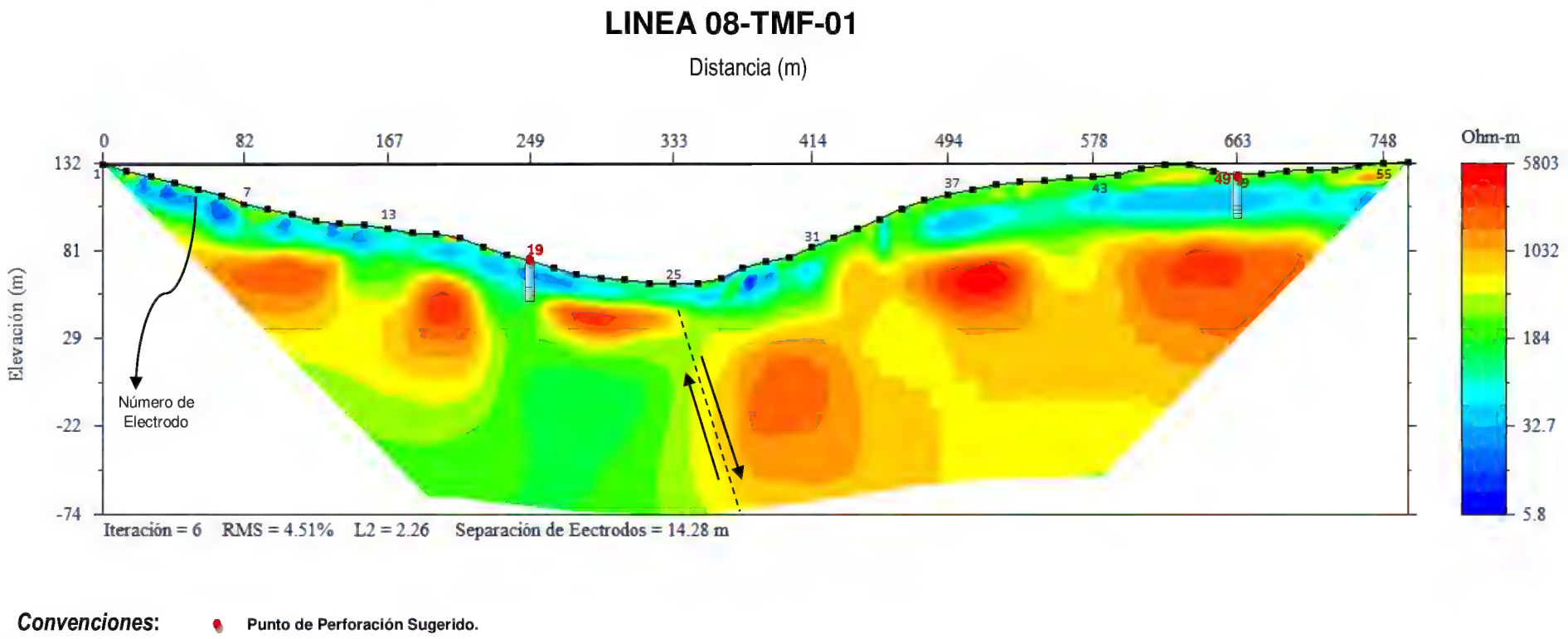


Figura 5.22. Imagen de Resistividad de la Línea 8 (08 – TMF-01) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

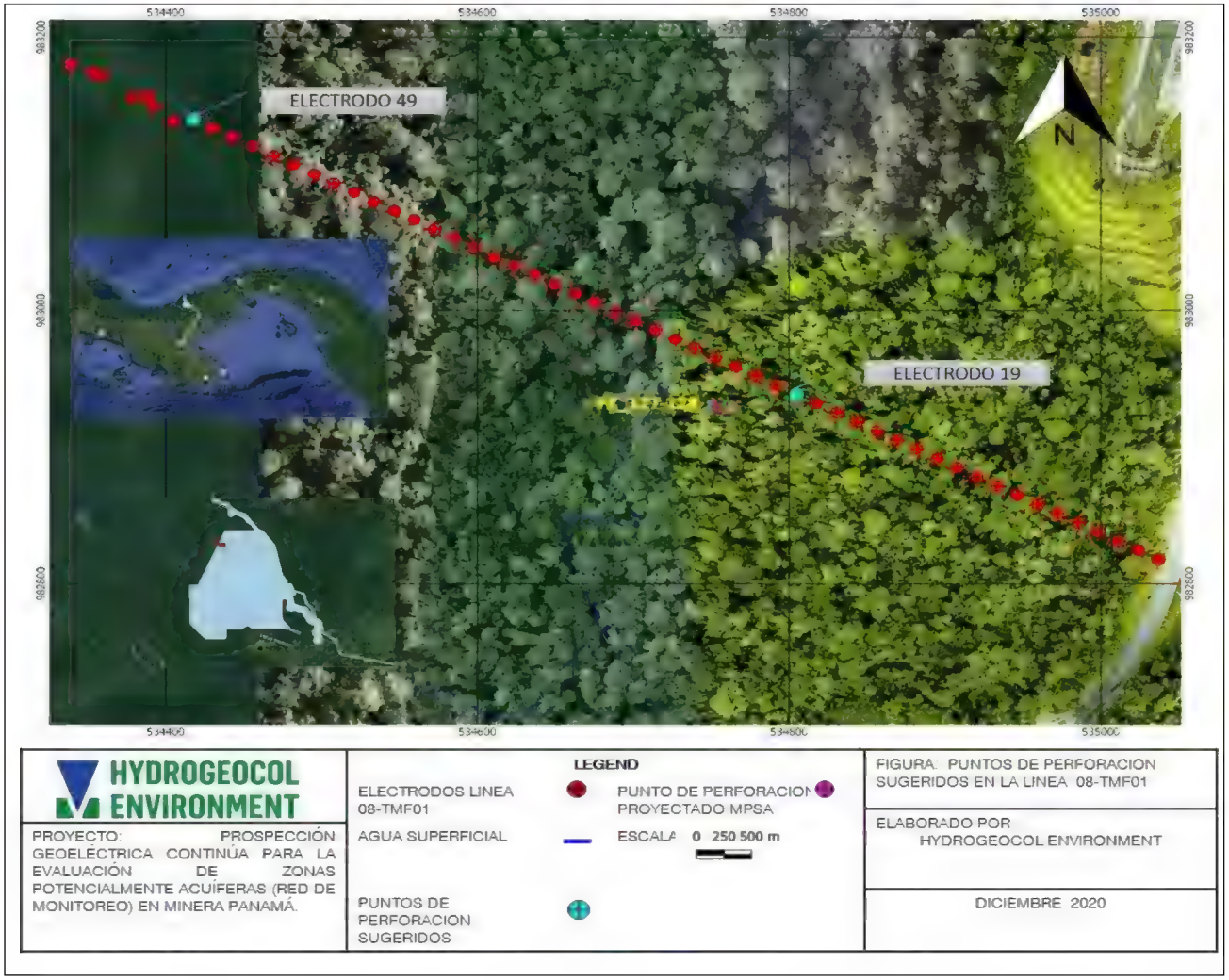


Figura 5.23. Imagen de Planta del trazado de la Línea 8 (08-TM-01) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.8. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 8 (08 – TMF-01) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Azul Pálido a Azul Oscuro	Arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño cantos y gravas con intercalaciones de arcilla y limos	Depósitos Aluviales en Paleocauces	<10.0	4.5 – 170.8	**Acuífero** con porosidad primaria. Muy Baja capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	30.0 – 100.0	170.8 – 1143.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	5.0 – 40.0	486.7 – 772.4	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Rojo Intenso a Pardo	Roca compacta, fallada y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	30.0 –100.0	1344.0 - 8965.0	**Acuicludo:** con porosidad secundaria y Muy Baja capacidad de almacenamiento de agua..
Azul Pálido a Azul Oscuro	Arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño cantos y gravas con intercalaciones de arcilla y limos	Depósitos Aluviales en Paleocauces	<10.0	4.5 – 170.8	**Acuífero** con porosidad primaria. Muy Baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.9 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 9 (TMF – 02)

Esta línea de Geoeléctrica continua se levanta en el extremo Norte de la Presa Norte, tiene una longitud de 600.0 m con un espaciamiento de electrodos de corriente de 10.71 m. para alcanzar una profundidad de investigación cercana a los 98.0 m, Se levanta en una dirección N70°E, donde el Electrodo No. 1 se localiza por las Coordenadas Norte: 983834.43 m y Este: 536419.11, mientras el último Electrodo correspondiente al No. 56, se hinca en las Coordenadas Norte: 984042.06 y Este: 536981.85. (Figura 5.24).

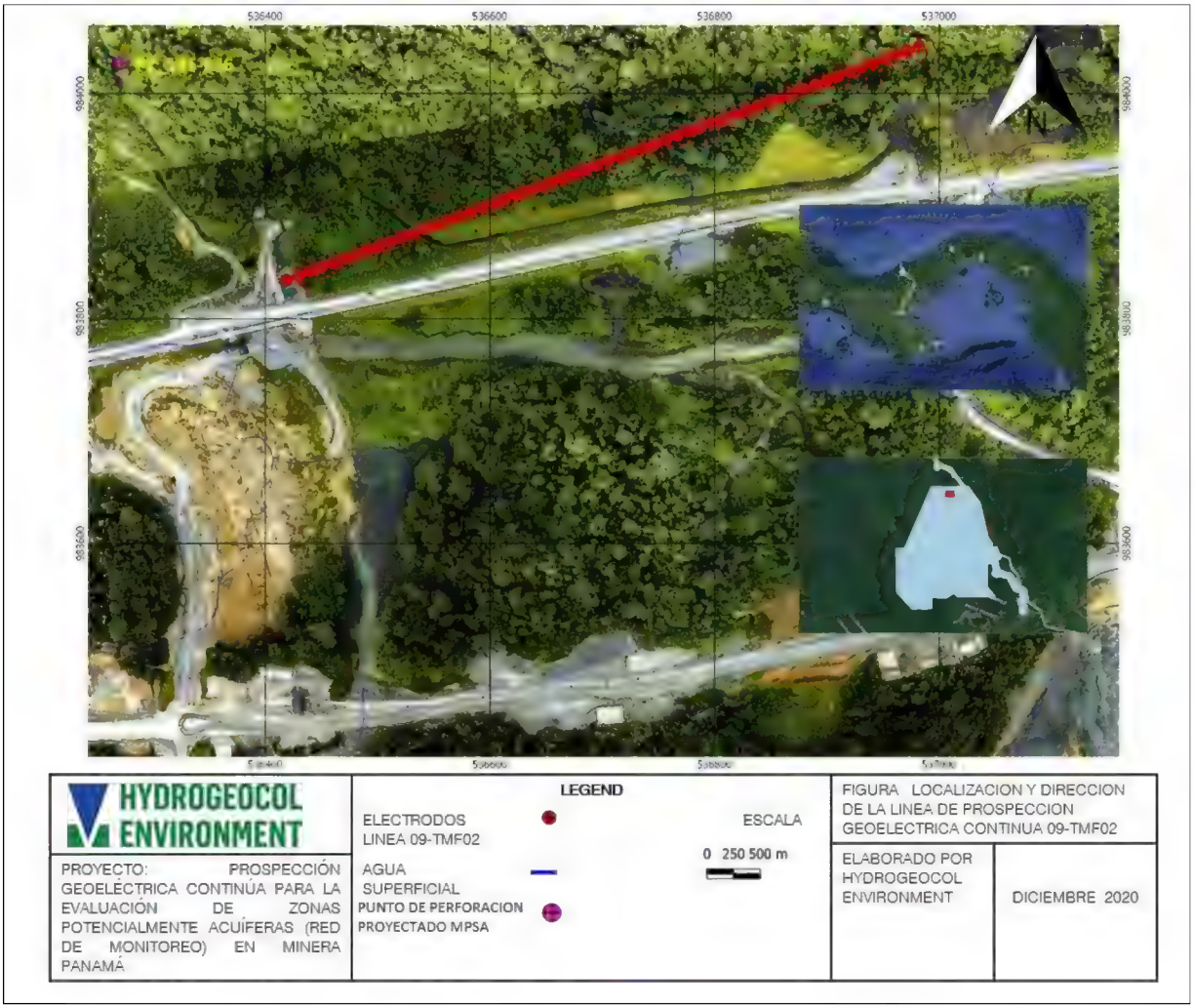


Figura 5.24. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 9 (09 – TMF-02) en cercanías de la presa Norte del Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

En el Modelo Geológico-Geoeléctrico resultado de la interpretación de la respectiva imagen, que se muestra en la parte inferior de la Figura 5.25, se diferencian principalmente cinco (5) Unidades, definidas por los valores de Resistividad Real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) Bueno, del orden del 3.47%, razón por la cual los resultados obtenidos que se presentan en la Tabla 5.9 son confiables.

En la mencionada Línea, la Unidad Geológica-Geoeléctrica más antigua ocupa casi toda la franja inferior, caracteriza por su tonalidad parda amarillenta a rojo intenso reflejando sus mayores valores de Resistividad que oscilan entre 1284.0 – 4871.0 Ohm-m, reflejados por rocas ígneas de composición Granodiorítica o Andesítica muy fracturada al estar afectada por una falla con rumbo N70°E trazada entre los electrodos No. 19 y 21, la cual origina un Bloque Tectónico levantado en su labio Occidental con el Oriental hundido y poco desplazamiento vertical. Esta falla muy posiblemente se encuentra asociada al Sistema de Falla Botija, donde el citado cuerpo ígneo con espesor mayor de 100.0 m, por su alto grado de fracturamiento hidrogeológicamente se puede comportar como un Acuífero con Porosidad Secundaria, pero de Baja capacidad de almacenamiento de agua.

Bordeando al anterior cuerpo ígneo aparece la segunda Unidad Geológica-Geoeléctrica representada por una amplia aureola de color amarillo intenso correspondiente al Saprock o transición entre la roca ígnea fresca a Saprolito, con espesor entre 10.0 y 40.0 m que refleja resistividades desde 946.0 hasta 1182.5 Ohm-m. La fina litología que predomina en esta Unidad, permite clasificarla hidrogeológicamente como Acuicludo, es decir con ninguna posibilidad de almacenamiento de agua subterránea.

La tercera Unidad Geológica-Geoeléctrica aparece cubriendo a las dos anteriores, representada por la gruesa secuencia arcillo-limosa correspondiente al Saprolito, simbolizado en la imagen por su coloración verde a verde amarillento. Manifiesta valores de Resistividad desde 249.0 hasta 946.0 Ohm-m, con espesores entre 10.0 y 50.0 m, la cual por su muy fina litología también se comporta como Acuicludo.

La cuarta Unidad aflora en gran parte de la superficie del terreno, representada por los Depósitos Aluviales con espesores entre 5.0 y 15.0 m, que reflejan valores de resistividad entre 23.5 – 249.0 Ohm-m, simbolizados por tonos desde azul oscuro (limos) hasta azul pálido (arenas finas a gruesas hasta grava fina). Estos Depósitos conforman acuíferos tipo Libre con Moderada a Buena capacidad de almacenamiento de agua, especialmente donde desarrollan su mayor espesor.

Finalmente, la Unidad Geológica-Geoeléctrica más reciente está representada por pequeños y aislados Depósitos Coluviales, conformados por fragmentos de rocas de poco tamaño y compactas embebidas en matriz saprolítica con espesores que no sobrepasan los 2.0 m. Contienen valores de Resistividad entre 3587.0 y 4871.0 Ohm-m, simbolizados por el color rojo pálido con aureolas amarillentas, razón por la cual hidrogeológicamente son interpretados como Acuicludos. De acuerdo a los resultados se sugiere la perforación de un piezómetro en el electrodo No. 47, con una profundidad de 15 mts aproximadamente, como se muestra en la Figura 5.25.

En la Tabla 5.9, se resume los resultados de la interpretación de la Línea 09 (TMF-2) con los rangos de valores de Resistividad reflejados por las rocas ígneas y el material Cuaternario originado por sus diferentes grados de meteorización, los cuales conforman el subsuelo del área investigada.

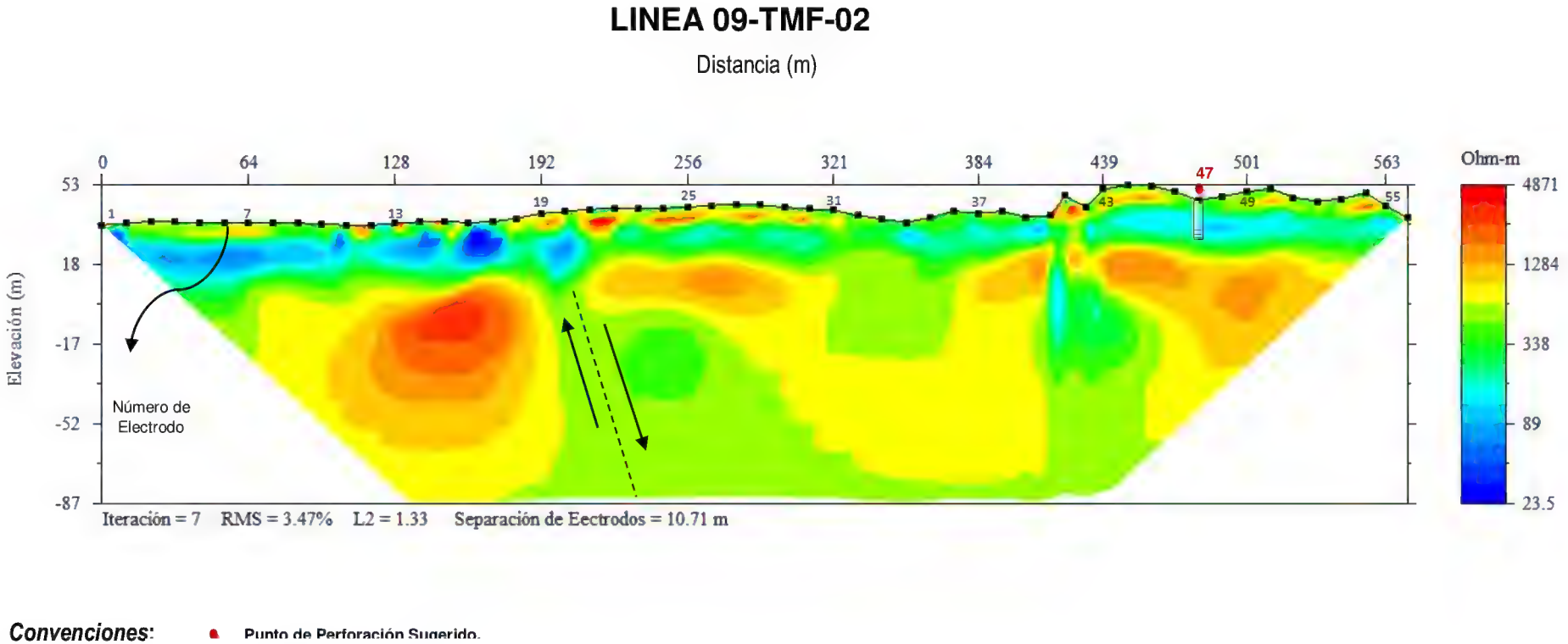


Figura 5.25. Imagen de Resistividad de la Línea 9 (09 – TMF-02) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

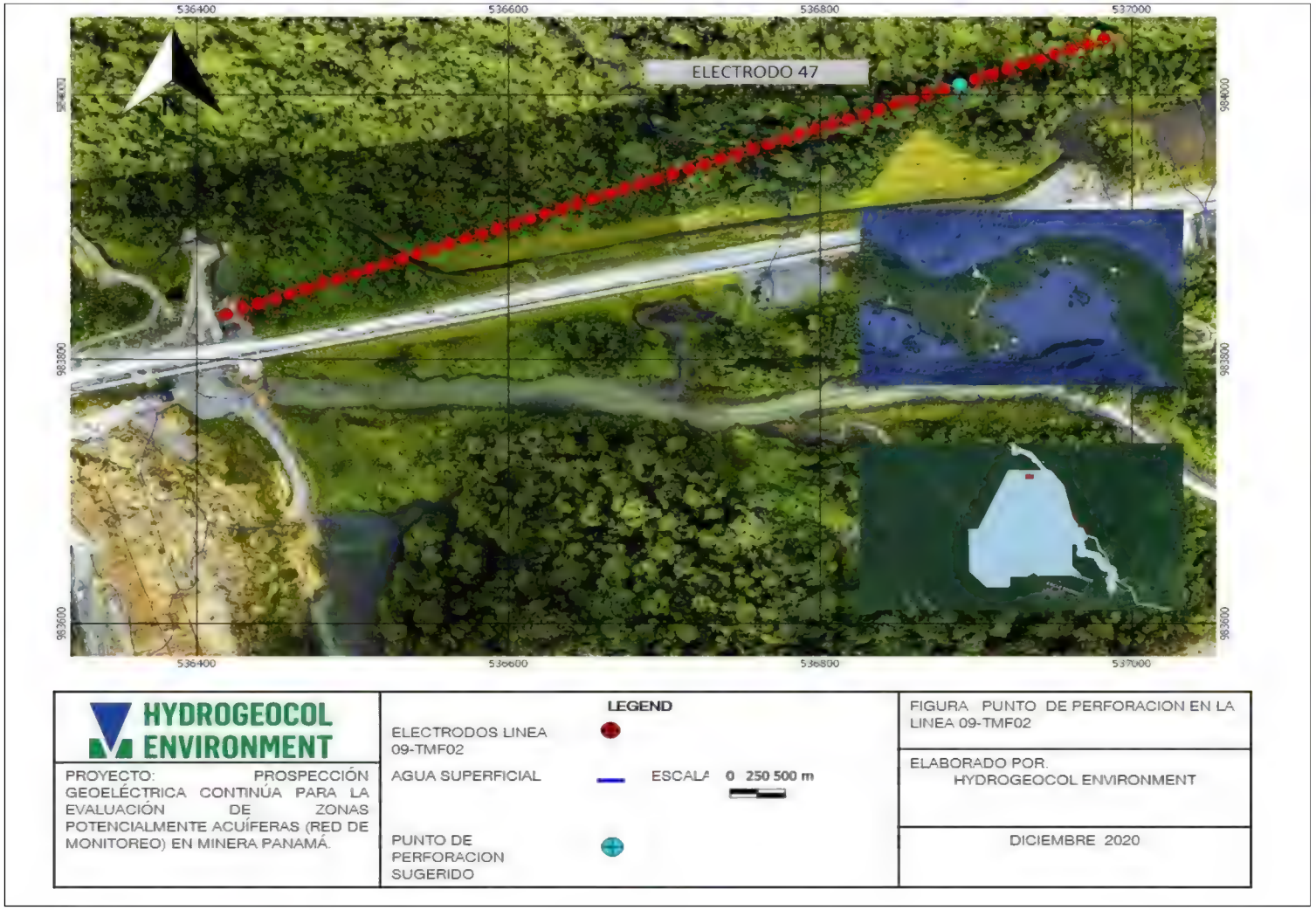


Figura 5.26. Imagen de Planta del trazado de la Línea 9 (09-TM-02) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.9. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 9 (09 – TMF-02) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido a Intenso con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas ígneas embebidos en matriz saprolítica	Depósito Coluvial	1.0 – 2.0	3587.0 – 4871.0	**Acuicludo** sin ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales en Paleocauces	5.0 – 15.0	23.5 – 249.0	**Acuífero** con porosidad primaria. Baja a Moderada capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	10.0 – 50.0	249.0 – 946.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	10.0 – 40.0	946.0 – 1182.5	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Pardo a Rojo Intenso	Roca compacta fallada y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	1284.0 – 4871.0	**Acuicludo** con porosidad secundaria y Muy Baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.10 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 10 (10 – PA).

Esta Línea de Geoeléctrica Continua se levanta en el sector Sur-Oriental del área de estudio, próxima a la estructura de almacenamiento de relave conocida como Poza 4A. Es levantada con una longitud de 500.0 m y espaciamiento de electrodos de corriente de 8.92 m, alcanzando una profundidad de investigación cercana a los 83.0 m, Es levantada con un rumbo casi Oriente – Occidente, donde el Electrodo No.1 se ubica al Occidente definido por las Coordenadas Norte: 977640.64 m y Este: 539477.89, mientras el último correspondiente al No. 56, se hinca al Occidente en las Coordenadas Norte: 977625.88 y Este: 539978 (Figura 5.27).

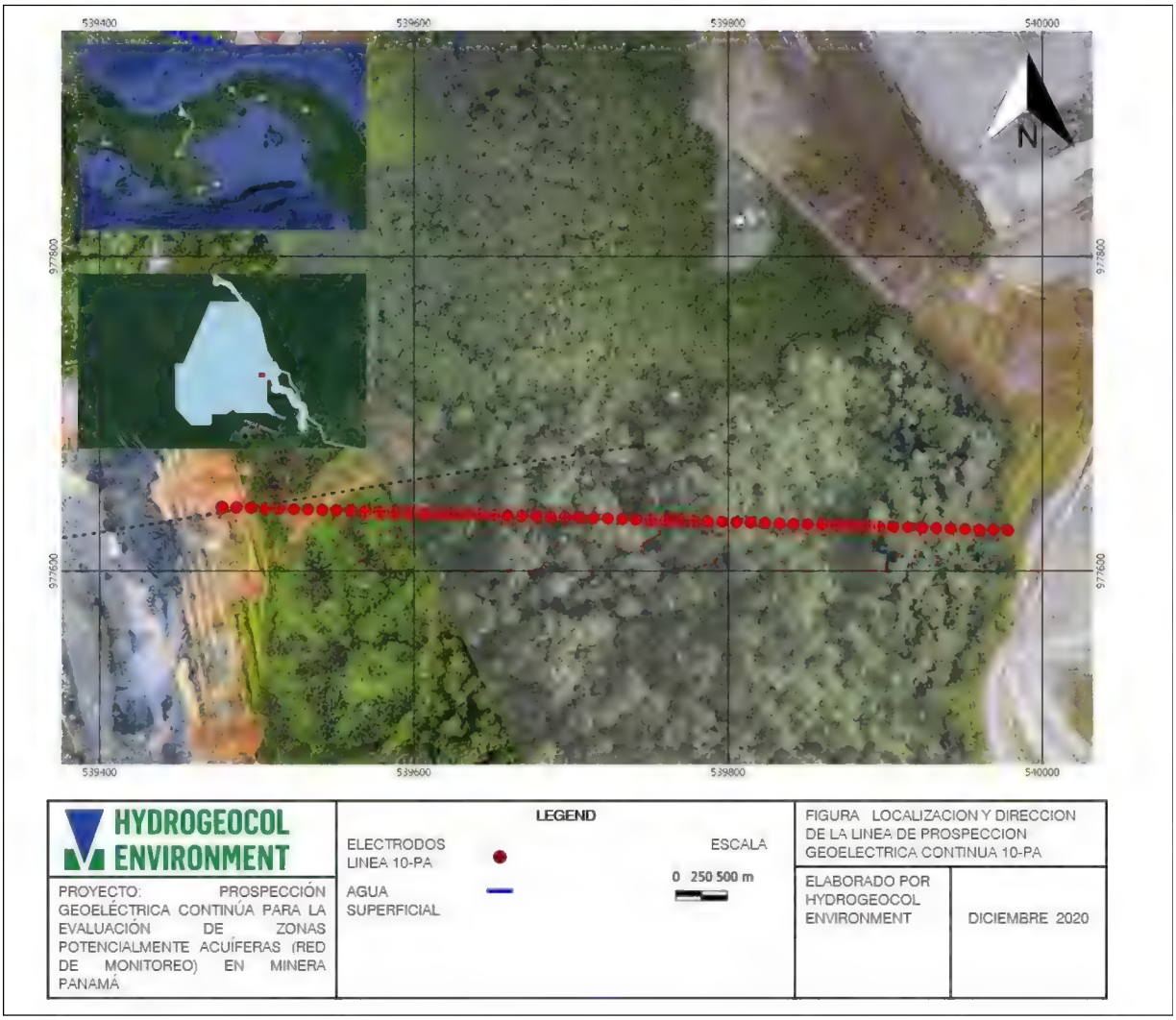


Figura 5.27. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 10 (10 – PA) ubicada en cercanías de la estructura de almacenamiento de relave conocida como Poza 4A, en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

El Modelo Geológico-Geoeléctrico obtenido en la Figura 5.28 presenta un Error Medio Porcentual (RMS) de 6.69%, razón por la cual los resultados de la interpretación se consideran confiables. Este Modelo muestra claramente la presencia de cuatro (4) unidades definidas por su comportamiento frente a la corriente inducida, representadas por rocas antiguas que se ubican en la parte inferior de la imagen, al parecer sin afectación por eventos tectónicos, cubiertas por capas de sedimentos producto de procesos de meteorización y depositación en ambientes Aluviales y Coluviales.

La Unidad Geológica-Geoeléctrica más antigua ocupa la parte inferior derecha de la Línea, caracterizada por su tonalidad verde amarillento a amarillo intenso, equivalente a al cuerpo ígneo Granodiorítico o Andesítico con muy alto grado de meteorización que refleja resistividades desde 1029.0 hasta 2291.0 Ohm-m, representando al Saprock o transición entre la roca fresca a Saprolito con espesor entre 15.0 y 70.0 m, la cual por su muy fina composición litológica, hidrogeológicamente se comporta como un Acuicludo.

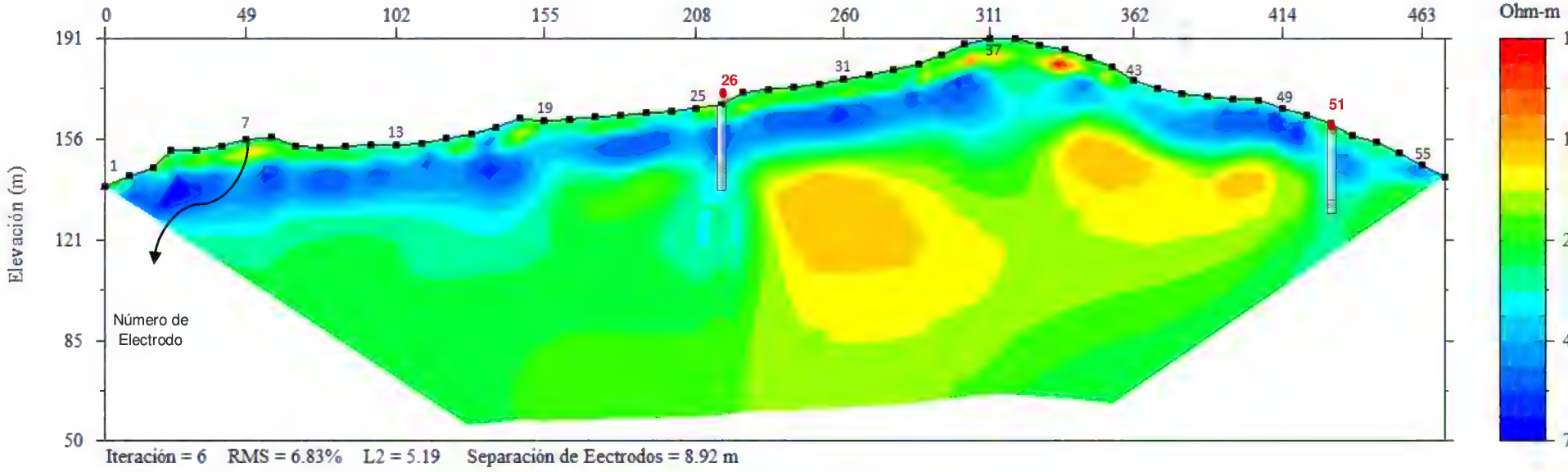
Este cuerpo ígneo aparece rodeado por una gruesa secuencia arcillo-limosa correspondiente al Saprolito, simbolizado en la imagen por su coloración verde a verde amarillento con espesores entre 15.0 y 90.0 m, que reflejan valores de resistividad de 125.0 a 150.0 Ohm-m, la cual por su fina litología igualmente se comporta como Acuicludo.

La cuarta Unidad se encuentra representada por una franja casi continua y alargada cercana a la superficie del terreno, que alcanza a aflorar hacia el extremo Oriental de la Línea, representando a Depósitos Aluviales cubiertos por muy delgados espesores de Saprolito. El Depósito Aluvial aparece simbolizado por los tonos azul oscuro a azul pálido con espesores entre 2.0 y 15.0 m que reflejan valores de resistividad de 7.4 a 54.1 Ohm-m que indican una litología de arcillas y limos (azul oscuro) hasta arenas fina a gruesa (azul pálido), conformando acuíferos generalmente de tipo confinado, con moderada a buena capacidad de almacenamiento de agua.

Finalmente, la Unidad Geológica-Geoeléctrica más reciente está representada por pequeños y muy escasos Depósitos Coluviales que afloran hacia la parte Oriental de la mencionada Línea de Prospección asociado a valores de resistividad entre 2923.0 y 18553.0 Ohm-m, simbolizados por tonos rojos con aureolas amarillas. Representan fragmentos de rocas de diversos tamaños embebidos en matriz saprolítica con espesor que no sobrepasa los 5.0 m, clasificados hidrogeológicamente como Acuicludos. De acuerdo a los resultados se sugiere la perforación de dos piezómetros en lo electrodos No. 26 y 51, con profundidades de 25 y 30 mts aproximadamente, como se muestra en la Figura 5.28.

A continuación, se muestra la interpretación Geológica-Geoeléctrica de la mencionada Línea de Prospección 10-PA y en la Tabla 5.10 se muestra de manera resumida sus resultados.

LINEA 10-PA



Convenciones: **Punto de Perforación Sugerido.**

Figura 5.28. Imagen de Resistividad de la Línea 10 (10 – PA) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

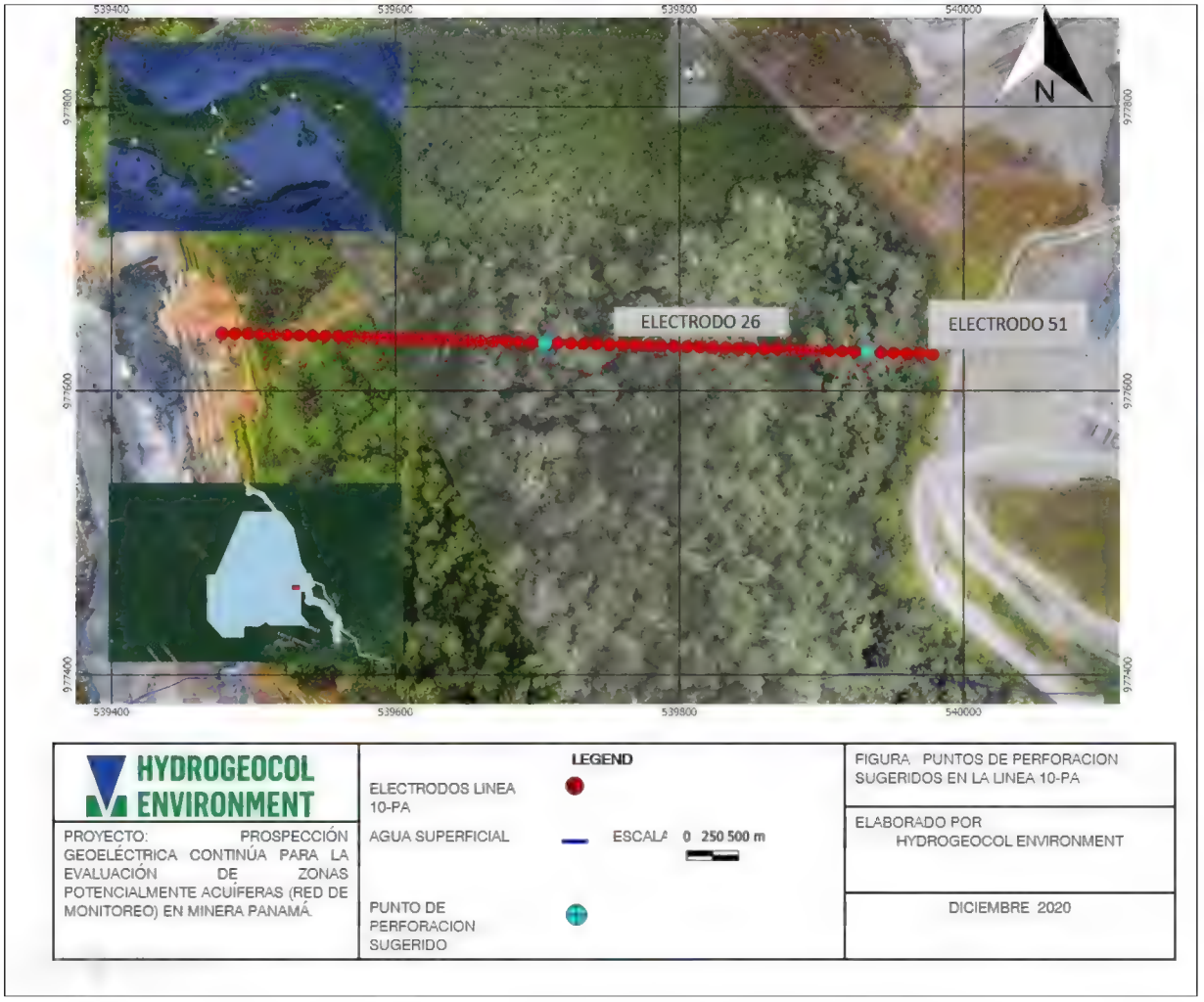


Figura 5.29. Imagen de Planta del trazado de la Línea 8 (08-TM-01) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.10. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 10 (10 – PA) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas ígneas embebidos en matriz saprolítica	Depósitos Coluviales	1.0 – 5.0	2923.0 – 18553.0	**Acuicludo**. Baja capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales en Paleocauces	30.0 – 70.0	7.4 – 54.1	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada a buena capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	15.0 – 90.0	343.9 – 1029.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Verde amarillento a Amarillo Intenso	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	15.0 – 70.0	1029.0 – 2291.0	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas ígneas embebidos en matriz saprolítica	Depósitos Coluviales	1.0 – 5.0	2923.0 – 18553.0	**Acuicludo**. Baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.11 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 11 (11 – P20).

La Línea de Geoeléctrica Continúa identificada como Línea 11-P20 se levanta hacia el borde Sur-Oriental del área. Se levanta con una dirección Este-Oeste con una longitud de 800.0 m y un espaciamiento de electrodos de corriente de 14.28 m, para alcanzar una profundidad de investigación de aproximadamente 133.33 m. El Electrodo No. 1 se ubica al Occidente por las Coordenadas Norte: 979383.89m y Este: 539499.99, mientras el último correspondiente al No. 56, se ubica al Oriente en las Coordenadas Norte: 979438.87y Este: 540297.16. (Figura 5.30).

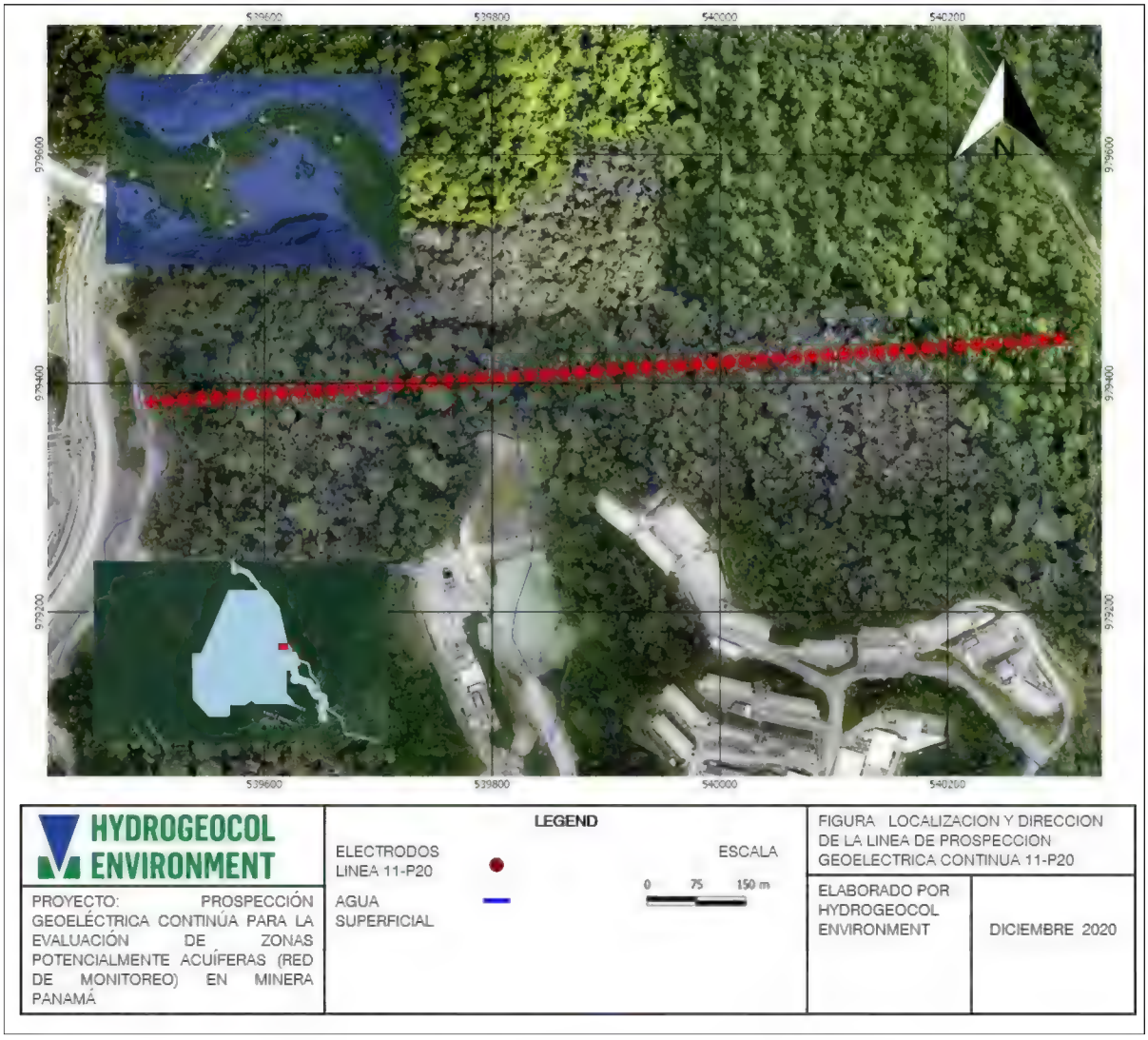


Figura 5.30. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 11 (11 – P20) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

La interpretación del Modelo Geológico-Geoeléctrico obtenido a partir de la imagen inferior de la Figura 5.31, donde su Error Medio Porcentual (RMS) es del 5.05%, considerado bueno, señala la ocurrencia de cuatro (4) Unidades. La más antigua ocupa prácticamente la franja Central simbolizada por el color pardo pálido al rojo intenso, reflejando valores de resistividad desde 1573.0 hasta 100000.0 Ohm-m, representado la roca ígnea de composición Granodiorítica o Andesitica fracturada. Hidrogeológicamente se comporta como un Acuicludo con Porosidad Secundaria, de Baja capacidad de almacenamiento de agua.

Bordeando al anterior cuerpo ígneo aparece la segunda Unidad Geológica-Geoeléctrica que representa al Saprock, simbolizado por el color amarillo intenso con espesores entre 30.0 y 90.0 m reflejando valores de resistividad entre 1325.0 y 1573.0 Ohm-m. El Saprock por su fina litología hidrogeológicamente se comporta como un Acuicludo.

El Saprock a su vez aparece cubierto por una espesa capa de Saprolito con espesor entre 30.0 y 183.0 m que refleja resistividades desde 104.5 hasta 223.5 Ohm-m, caracterizado por su tono Verde a Verde Amarillento e hidrogeológicamente considerado como un Acuicludo.

La cuarta unidad Geológica-Geoeléctrica está conformada por delgados Paleocauces que conforman Depósitos Aluviales de manera discontinúa y cercanos a la superficie del terreno, donde aparecen cubiertos por Saprolito. Están simbolizados por tonos azul oscuro a azul pálido que corresponden a valores de resistividad desde 6.1 hasta 38.9 Ohm-m, desarrollando delgados espesores que oscilan de 10.0 a 20.0 m: Su litología corresponde a limo-arenoso y arenas finas a gruesa hasta grava, clasificado hidrogeológicamente como Acuífero con moderada capacidad de almacenamiento de agua, considerado generalmente de tipo confinado.

En la Tabla 5.11 se resume los resultados de la anterior interpretación con los rangos de valores de resistividad reflejados por rocas ígneas altamente meteorizadas y los depósitos Cuaternarios que la cubren, los cuales conforman el subsuelo del área investigada.

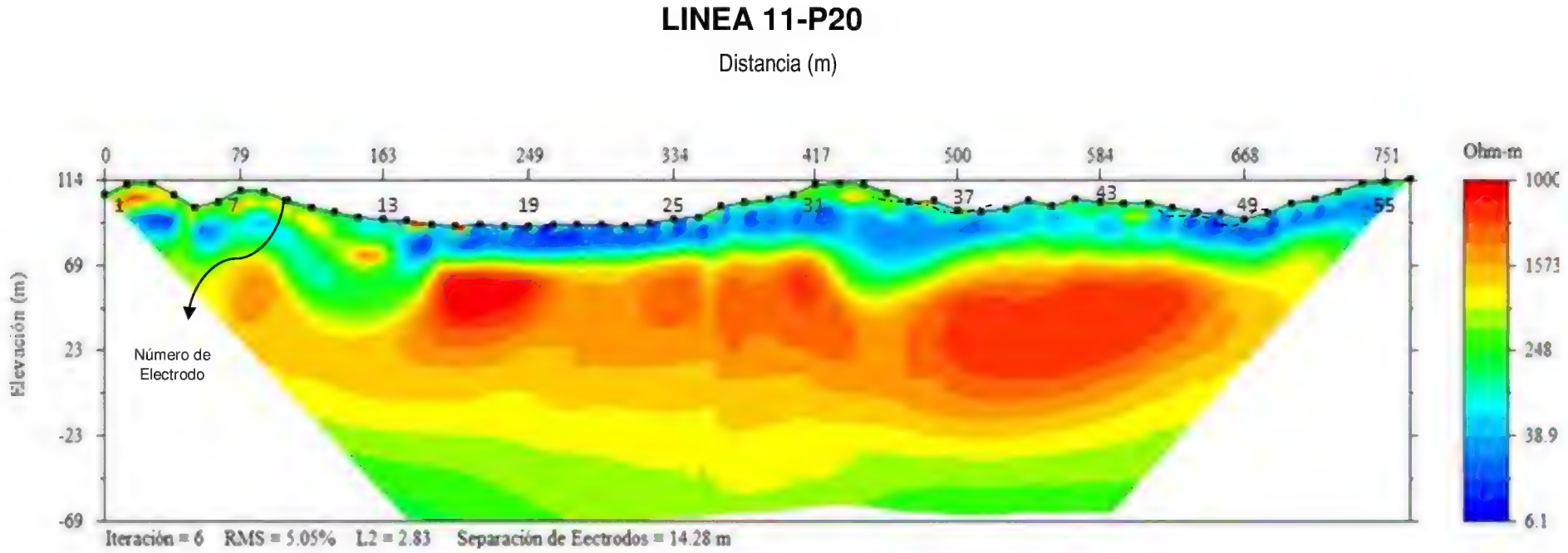


Figura 5.31. Imagen de Resistividad de la Línea 11 (11 – P20) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

Tabla 5.11. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 11 (11 – P20) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales	10.0 – 20.0	5.0 – 37.3	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	30.0 – 183.0	104.5 --223.5	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso a Pardo Pálido	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	30.0 - 90.0	1325.0 - 1573.0	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Pardo Pálido a Rojo intenso	Roca compacta fallada y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	1573.0 -100000.0	**Acuicludo:** con baja capacidad de almacenamiento de agua.

5.12 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE LA LÍNEA 12 (12 – SBN).

La citada Línea de Prospección de Geoeléctrica Continua se levanta en el sector denominado como San Benito, que se ubica fuera de las instalaciones del área minera, a lo largo de una dirección N25°E. Tiene una longitud de 800.00 m con un espaciamiento de electrodos de corriente de 14.28 m, para alcanzar una profundidad de investigación de aproximadamente 133.0 m. El Electrodo No. 1 se ubica hacia la parte Nor-Oriental delimitado por las Coordenadas Norte: 976709.67m y Este: 541709.4, mientras el último Electrodo correspondiente al No. 56 se hinca al Sur-Occidente en las Coordenadas Norte: 976068.8y Este: 541272.1 (Figura 5.32).

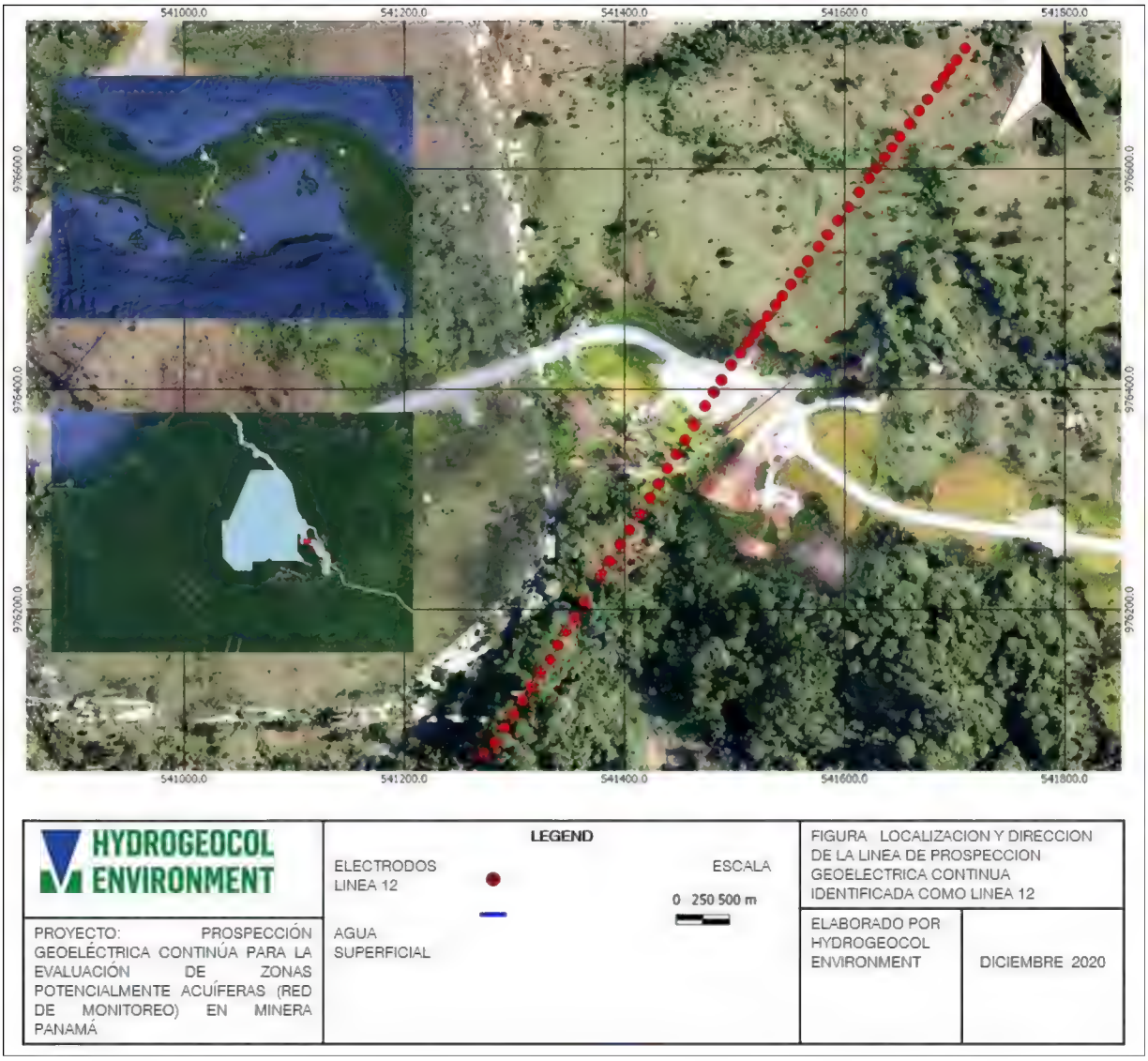


Figura 5.32. Localización y Dirección o Rumbo de la Línea de Prospección Geoeléctrica Continua Identificada Como Línea 12 (12 – SBN) ubicada en el sector de san Benito.

En el Modelo Geológico-Geoeléctrico que se muestra en la parte inferior de las imágenes de la Figura 5.33, se diferencian principalmente cuatro (4) Unidades, definidas por los valores de resistividad real obtenidos con un Error Medio Porcentual (RMS) moderado, del orden del 8.06%..

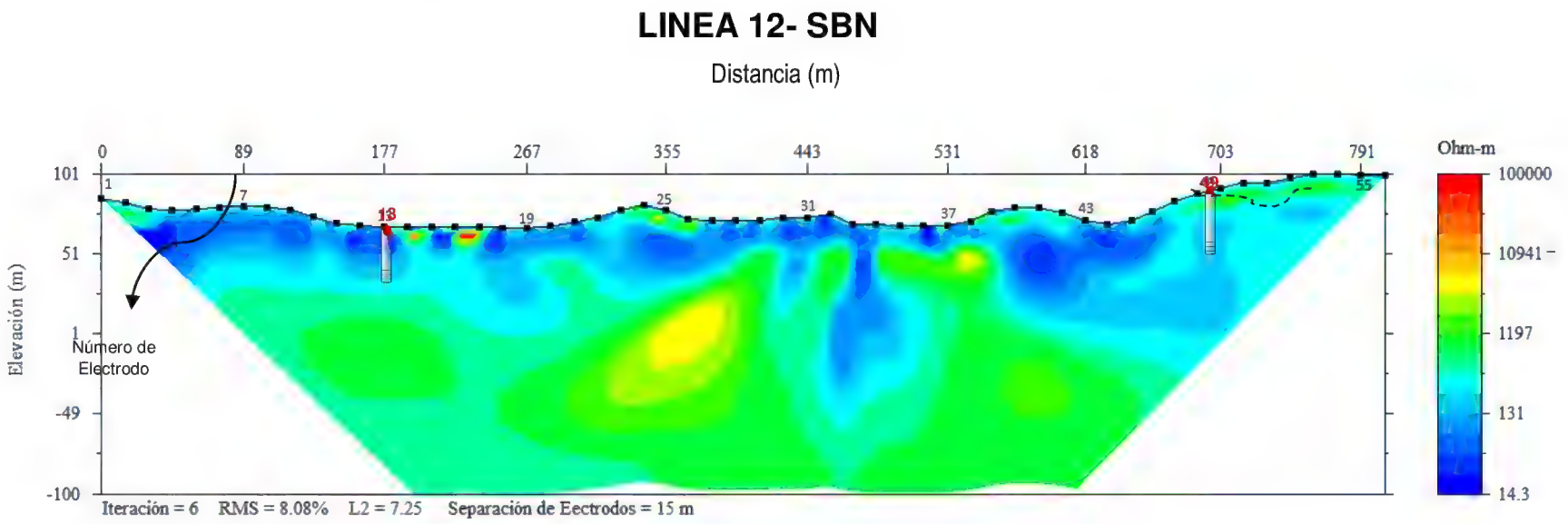
En la mencionada imagen inferior utilizada para su interpretación, la Unidad Geológica-Geoeléctrica más antigua aparece en la parte Central de la Línea, correspondiente a un pequeño cuerpo ígneo altamente meteorizado, asociado al Saprock, simbolizado por el color amarillo pálido al intenso con valores de Resistividad entre 6052.0 y 8482.0 Ohm-m., hidrogeológicamente clasificado como Acuicludo.

La anterior Unidad aparece cubierta por una gruesa capa de Saprolito simbolizada en la imagen por el color verde intenso al verde pálido que refleja resistividades desde 1061.0 a 1191.0 Ohm-m, indicando con ello que está conformado por arena limosa, limo-arcilloso y arcilla limosa, desarrollando espesores entre 50.0 y 130.0 m. Hidrogeológicamente se comporta como Acuicludo.

La siguiente Unidad Geológica-Geoeléctrica está representada por los Depósitos Aluviales que afloran a lo largo de toda la Línea, simbolizados por la gama azul oscuro a azul pálido que reflejan resistividades desde 14.2 hasta 130.0 Ohm-m y por ello se interpretan como constituido por limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava, desarrollando espesores desde 25.0 hasta 80.0 m, clasificado hidrogeológicamente como Acuífero de tipo Libre, con buena capacidad de almacenamiento de agua. Por su importancia se sugiere monitorearlo a través de piezómetros ubicados en el Electrodo No. 13 con profundidad de 20.0 m y en el Electrodo No. 49 con profundidad de 30.0 m.

Finalmente, asociado a la superficie del terreno aparecen muy pequeños Depósitos Coluviales con espesores de menores de 5.0 m presentes hacia la parte Nor-Oriental de la Línea, conformados litológicamente por fragmentos de rocas ígneas embebidos en matriz saprolítica. Se caracterizan por su coloración rojo pálido, los cuales reflejan valores de resistividad desde 10913.0 hasta 33180.0 Ohm-m, señalando así el alto grado de compactación de estos fragmentos. Esta litología permite considerarlos como Acuícludo.

En la Tabla 5.12 se resume los resultados de la interpretación Geológica–Geoeléctrica de la mencionada Línea, donde se define estratigráficamente las unidades existentes en el subsuelo del área prospectada, con su respectiva litología, espesores, rangos de resistividad y la condición hidrogeológica asociada a cada una de ellas.



Convenciones: **Punto de Perforación Sugerido.**

Figura 5.33. Imagen de Resistividad de la Línea 12 (12 – SBN) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

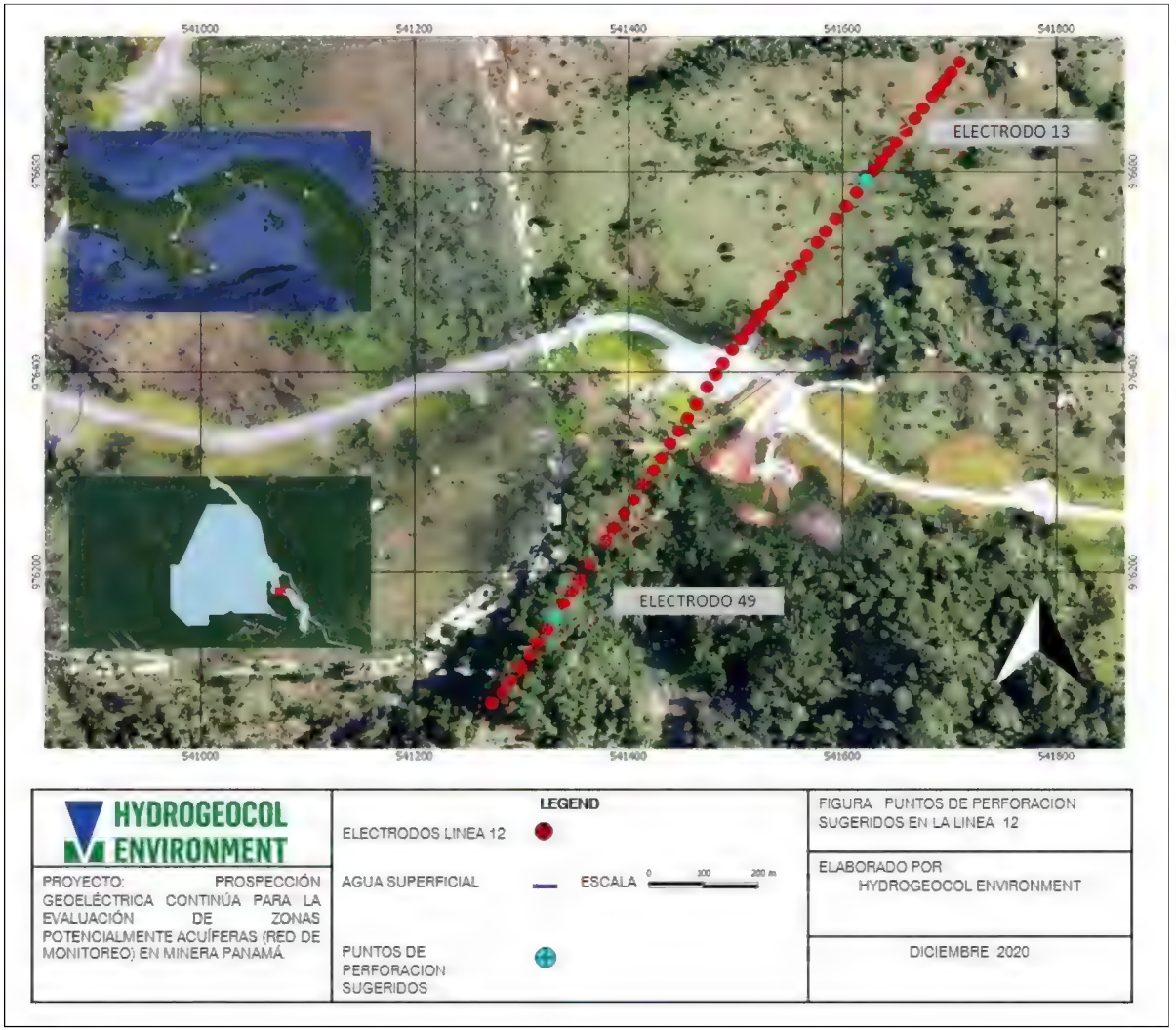


Figura 5.34. Imagen de Planta del trazado de la Línea 12 (12-SBN) en el área de Mina de Cobre Panamá y puntos sugeridos para la Perforación.

Tabla 5.12. Características Geológicas e Hidrogeológicas a Partir de Rangos de Resistividad Obtenidos en la Línea 12 (12 – SBN) Levantada en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

COLOR REPRESENTATIVO	TIPO DE MATERIAL	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR APROXIMADO (m)	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ohm-m)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS
Rojo Pálido con Aureolas Amarillentas	Fragmentos de rocas embebidos en matriz saprolítica	Depósito Coluvial	2.0 – 5.0	1143.0 – 1344.0	**Acuicludo**. Muy baja capacidad de almacenamiento de agua.
Azul Oscuro a Azul Pálido	Arcilla, limos, arenas finas a gruesas hasta fragmentos tamaño grava	Depósitos Aluviales	10.0 – 40.0	5.0 – 37.3	**Acuífero** con porosidad primaria. Moderada capacidad de almacenamiento de agua.
Verde a Verde Amarillento	Arcilla y limo-arcilloso	Saprolito	15.0 – 120.0	170.8 – 1143.0	**Acuicludo.** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Amarillo Intenso a Pardo Pálido	Transición de roca ígnea fresca a Saprolito	Saprock	10.0 – 60.0	1143.0- 1428.7	**Acuicludo:** Ninguna capacidad de almacenamiento de agua.
Pardo Pálido a Rojo intenso	Roca compacta fallada y fracturada	Basamento (Granodiorita – Andesita)	>100	1344.0 – 8965.0	**Acuicludo**. con baja capacidad de almacenamiento de agua.

6 CONCLUSIONES

- La ubicación y el levantamiento de las Líneas de Prospección de Geoeléctrica Continua en igual número de zonas situadas en alrededores del Tajo Botija y del Tajo Colina en el área del Proyecto Mina de Cobre Panamá, obedece a la necesidad de conocer en el subsuelo la presencia de unidades hidrogeológicas potencialmente acuíferas, determinando además su posibilidad de contaminación a través del material de relave acumulado en pozas dispuestas para tal fin. Cabe anotar que dichas líneas se ubican de igual manera siguiendo una ubicación preliminar sugerida por Minera Panamá de siete (7) piezómetros múltiples destinados para el seguimiento ambiental y la calidad del agua subterránea.

- Tanto la ubicación como la disposición geométrica de las Líneas de Prospección de Geoeléctrica Continua como la profundidad de investigación determinada, se lleva a cabo con base en planteamientos técnicos de la empresa Minera Panamá S.A, en lo concerniente a la ubicación, longitud y dirección de las líneas. La longitud oscila desde 450.0 hasta los 800.0 m, para lograr profundidades de investigación confiables cercana a los 133.3 m.

- El área de estudio geomorfológicamente comprende las Regiones de Cerros Bajos y Colinas de origen Estructural caracterizados por presentar alturas topográficas que oscilan entre 100.0 y 700.0 m.s.n.m, desarrollando una topografía de paisaje accidentado donde las laderas de los cerros y colinas tienen formas convexas en las partes superiores y cóncavas en las inferiores. Corresponden a zonas de contacto de cuencas sedimentarias cubiertas por material volcánico e intrusiones ígneas generalmente de composición granodiorítica y andesítica debido a empujes en zonas de subducción.

- Geológicamente el área correspondiente a la presente investigación, está constituida hacia la base por rocas de composición andesíticas alteradas, flujos basálticos, tobas y rocas sedimentarias, intruidas por el Batolito de Petaquilla de composición cuarzo-monzonítica localizado hacia la parte Norte de la mina, el cual se extiende al Sur-Oriente a la región del tajo Botija. Hacia las márgenes del citado Batolito, también ocurren numeroso stock y plutones de composición granodiorítica, tonalítica y cuarzo-diorítica, donde es común la presencia de espesos suelos residuales con tonalidades rojizas (saprolitos), producto de la intensa meteorización de estas rocas. El Cuaternario consiste principalmente de rocas volcánicas del Pleistoceno, depósitos aluviales asociados a corrientes superficiales y litorales de pantanos constituidos por arcillas y cienos orgánicos intercalados que contienen fósiles marinos, gravas y finalmente depósitos coluviales.

- Tectónicamente el área del proyecto Mina de Cobre Panamá se encuentra dominada por dos (2) importantes trenes estructurales con dirección Nor-Oriente y Nor-Occidente. La principal estructura corresponde a la Falla del Río Botija, una falla normal con inclinación hacia el Norte y rumbo con orientación variable entre NE y NW, con un Brazo de Falla inclinado hacia el Sur-Oriente.

- Hidrológicamente el área de estudio se caracteriza por contener un período de lluvia Unimodal, donde el excedente de la Precipitación (diferencia entre la Precipitación Promedio Anual de 3100.0 mm y la Evapotranspiración Real Anual de 1250.0 mm) es alta, del orden de 1850.0 mm/año. Según el Balance Hídrico elaborado de manera aproximada, la cantidad de agua disponible para la Infiltración Potencial hacia las unidades potencialmente acuíferas es igualmente alto con un valor calculado en 165.1 mm/año. Este valor ocurre especialmente hacia aquellas unidades Cuaternarias conformadas por sedimentos inconsolidados con desarrollo de una porosidad primaria, estimándose mucho menor hacia las rocas ígneas y volcánicas con porosidad secundaria por fracturas.

- Con base en el Modelo de Resistividad Real resultante y teniendo en cuenta la topografía de superficie, se elabora el modelo final de interpretación Geológica-Geoeléctrica para cada Línea de Prospección

Geoeléctrica Continua, en las cuales se definen las diferentes unidades geológicas y las estructuras que conforman el subsuelo. El Error Medio Porcentual (RMS) obtenido en los perfiles es menor del 12%, considerándose moderada la confiabilidad de sus interpretaciones, debido muy seguramente al intenso período de lluvia acaecido durante el levantamiento de campo.

- Los resultados de la interpretación de las líneas levantadas e interpretadas en alrededor del Tajo Botija en el proyecto Mina de Cobre Panamá, indican que en y cerca de la superficie del terreno generalmente ocurren paleocauces representados por Depósitos Aluviales cubiertos por Saprolito. La composición litológica de estos depósitos, de fina a gruesa granulometría, permiten la conformación de acuíferos con porosidad primaria de tipo confinado y en algunos sectores de tipo libre.

- La interpretación también señala que el basamento de cada línea hasta la profundidad correspondiente de investigación, está conformado por rocas ígneas intrusivas, que según la geología puede corresponder a granodioritas o andesitas, que en algunos sectores se mantiene fresca reflejando los mayores valores de resistividad, pero siempre con aureolas de meteorización que pasan de Saprock a espesas secuencias de Saprolito.

- Hidrogeológicamente la roca ígnea fresca con alto grado de fracturamiento se comporta como acuífero con porosidad secundaria, pero con baja capacidad de almacenamiento de agua subterránea al permanecer generalmente, las fracturas, rellenas con material secundario. Tanto el Saprock como el Saprolito por su muy fina granulometría se comportan como Acuicludos.

- Para valorar el posible riesgo de contaminación antrópica que pueda ocurrir en el acuífero Cuaternario representado por los Depósitos Aluviales, se sugiere construir piezómetros para el monitoreo físico-químico del agua subterránea como también la variación de su nivel estático, comparándolos al final del período seco y del período de lluvia, teniendo en cuenta que su comportamiento es Unimodal. Estos piezómetros se localizan lo largo de cada Línea de Prospección Geoeléctrica Continua, donde el sitio de perforación se identifica a partir del número del electrodo dispuesto topográficamente durante el levantamiento de cada una de ellas.

- Los piezómetros de monitoreo se sugiere construirlos con tubería ciega y filtros PVC de 2.0 pulg de diámetro, los cuales tienen profundidades que varías desde 20.0 hasta 100.0 m, con tramos filtrantes instalados en la parte final del piezómetro de 3.0 m de longitud para los menores de 40.0 m de profundidad, y para los mayores de 6.0 m.

7 BIBLIOGRAFÍA

- **ACP, 2001.-** Balance Hídrico superficial de la región Occidental de la cuenca del canal de Panamá. Cuencas del Río Indio, Coclé del Norte y Caño Sucio. Autoridad del canal de Panamá.
- **ASTIER, J.L. 1.971.-** Geofísica Aplicada a la Hidrogeología. Masson y Cia, París.
- **BARKER, R.D, 1989.-** Depth of Investigation of Collinear Symmetrical Four - Electrode Arrays. Geophysics, Vol 54 No. 8, PP 1031 – 1037.
- **CUSTODIO Y LLAMAS., 1983.-** Hidrología Subterránea. Tomos I y II. Ediciones Omega. España.
- **EARTHIMAGER 1D. V.1.0., 2007.-** 1D Resistivity Inversion Software. Instruction Manual. Advanced Geosciences, Inc. Austin. Texas
- **EMPRESA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, S.A. (1999). -** Mapa Hidrogeológico de Panamá. Texto Explicativo. Escala 1:1'000.000.
- **GOOGLE EARTH., 2014.-** Navegator del US Departament of State Geographer. image Landsat. Data SIO, NOAA. U.S. Navy. NGA, GEBCO. USA.
- **HYDROGEOCOL ENVIROMENT (2019).** - Estudio Hidrológico e Hidráulico y Diseño de los Cruces de Cuerpos de Agua – Fase Colina y Valle Grande. Estudio Hidrológico. Minera Panamá S.A.S.
- **LOKE, M.H., 1996.-** Rapid 2D Resistivity Inversion Using The Least-Squares Method. Advanced Geoscience, Inc. Austin, Texas, USA.
- **MINERA PANAMÁ S.A.S., 2010.-** Proyecto Mina de Cobre Panamá. Línea base de Suelo y Geomorfología. Anexo IV. Panamá.
- **MINERA PANAMÁ S.A.S., 2010.-** Proyecto Mina de Cobre Panamá. Línea base de Hidrogeología. Anexo VI. Panamá.
- **MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIA, DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS MINERALES., 1991.-** Mapa Geológico de la República de Panamá en Escala 1:250000.
- **MOLANO, C.E., SALAMANCA, M., and VAN OVERMEEREN R.A.,1990.-** Numerical Modelling of Standard and Continuous Vertical Electrical Soundings. Geophysical Prospecting, 39, 705-718.
- **OLSSON, A.A., 1942.-** Tertiary Deposits of Northwestern South America and Panamá. Proc. 8th. Am. Sci. Congr. Wash.
- **RUBIO, ÁNGEL (1949)**. - Notas Sobre la Geología de Panamá.
- **URS HOLDINGS, Inc. (2015). -** Estudio de Impacto Ambiental Categoría III. Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá. Tercer Juego de Esclusas.

8 ANEXOS

ANEXO I.

Registro Fotográfico Correspondiente a las Actividades de Campo Relacionadas con el Levantamiento de Líneas de Prospección de Geoeléctrica Continua en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá. Municipio de Donoso. Provincia de Colón. Panamá

Foto No. 1. Aspectos geomorfológicos del área del proyecto Mina de Cobre Panamá conformado por cerros y colinas de fuertes pendiente y vegetación boscosa, conformados por rocas ígneas con desarrollo de Saprolito en su parte superior.

Foto No. 2. Morfología de colinas alargadas con vertientes de pendientes escarpadas, disectadas por corrientes intermitentes con patrón de drenaje sub-paralelo a sub-dendrítico y desarrollo de vegetación boscosa, en el área del proyecto Mina de Cobre Panamá.

Foto No. 3. Presencia de poza para acumulación de material de relave producto de la actividad minera, rodeada por colinas con abundante vegetación.

Foto No. 4. Afloramiento de roca ígnea de composición granodiorítica masiva, compacta y fracturada de edad Cretáceo, en el área del Tajo Botija del proyecto Mina de Cobre Panamá.

Foto No. 5. Fractura con dirección NE y desplazamiento de rumbo en roca ígnea granodiorítica en la zona del Tajo Botija del proyecto Mina de Cobre Panamá.

Foto No. 6. Ocurrencia del Saprock donde se presenta la gradación de la meteorización de la roca ígnea fresca a Saprolito en el área de del proyecto Mina de Cobre Panamá.

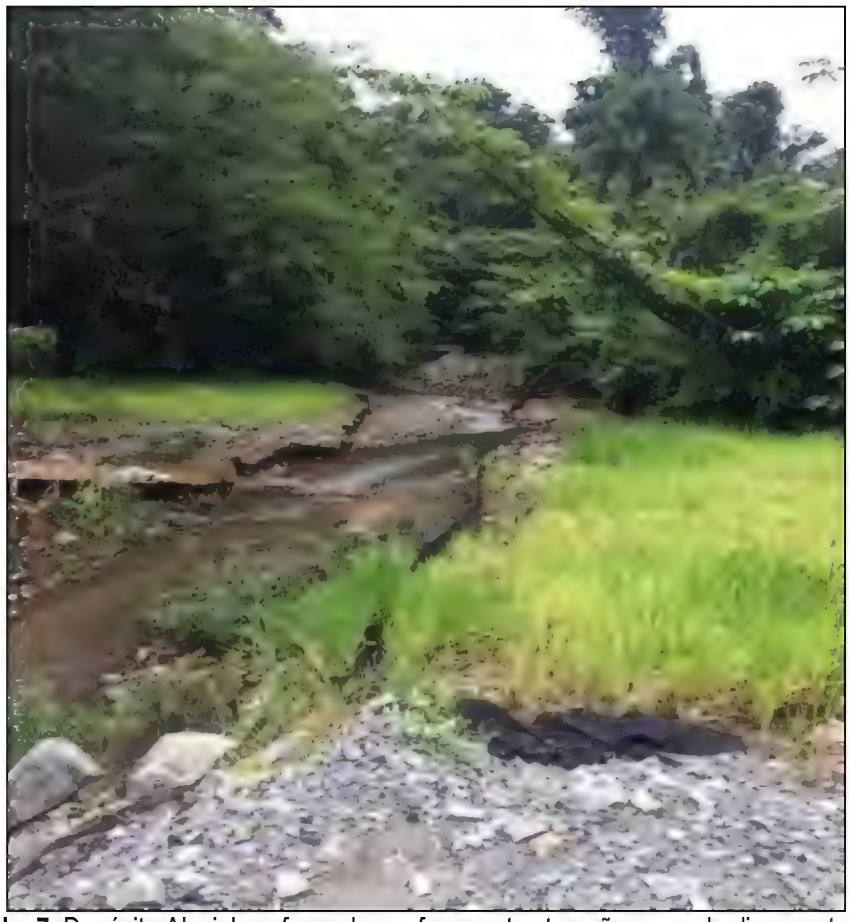


Foto No. 7. Depósito Aluvial conformado por fragmentos tamaño grava de diversos tamaños embebidos en matriz areno-limosa, asociado a quebradas que transitan en el área del proyecto Minero Cobre Panamá.

Foto No. 8. Aspectos detallados de un Depósito Coluvial constituido por fragmentos angulares de diversa composición litológica adosado a laderas de colinas existentes en el área de estudio.

Foto No. 9. Equipo de resistividad digital de alta resolución, marca Super Sting™, instrumento automático multieléctrodo de 8 canales, con 200 Watts de potencia y voltaje de salida hasta de 800 V para levantamientos de líneas de geoeléctrica continua.

Foto No. 10. Disposición de los electrodos de corriente para el levantamiento de un Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) a lo largo de trocha construida por Minera Panamá S.A.S.

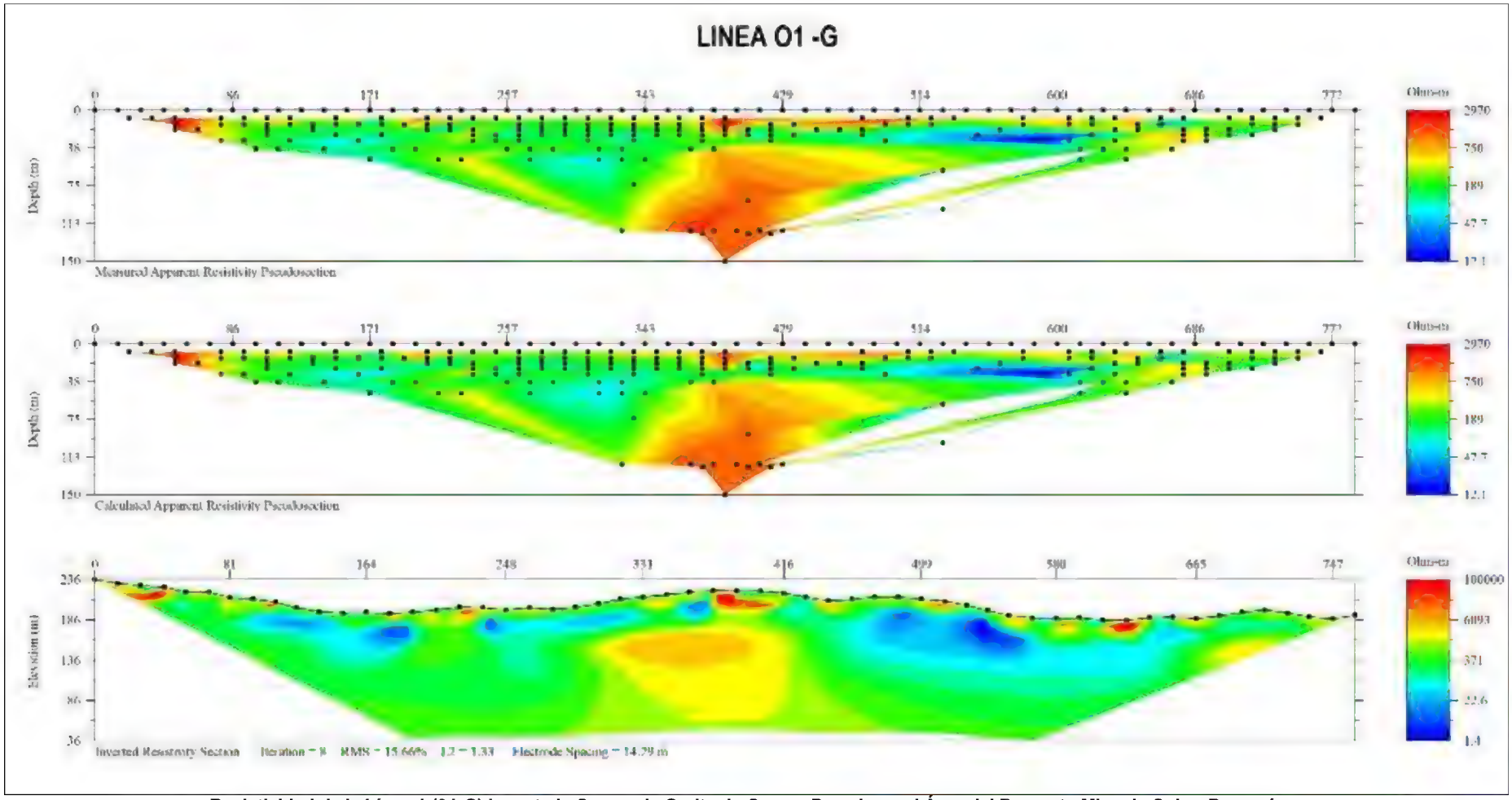
Foto No. 11. Extensión del cable para atravesar una corriente de agua superficial durante el levantamiento de línea de geoeléctrica continua, las cuales ocurren comúnmente en el período de lluvia Unimodal que prevalece en el área investigada

Foto No. 12. Levantamiento de una línea de geoeléctrica continúa empleando el arreglo automático Schlumberger en un área de topografía irregular con densa vegetación en el área del proyecto Mina de Cobre Panamá.

Foto No. 13. Instalación de cableado para levantamiento de la Línea 5 de Prospección de Geoeléctrica Continúa cruzando por quebrada en la parte SE del Tajo Botija en el área del proyecto Mina de Cobre Panamá.

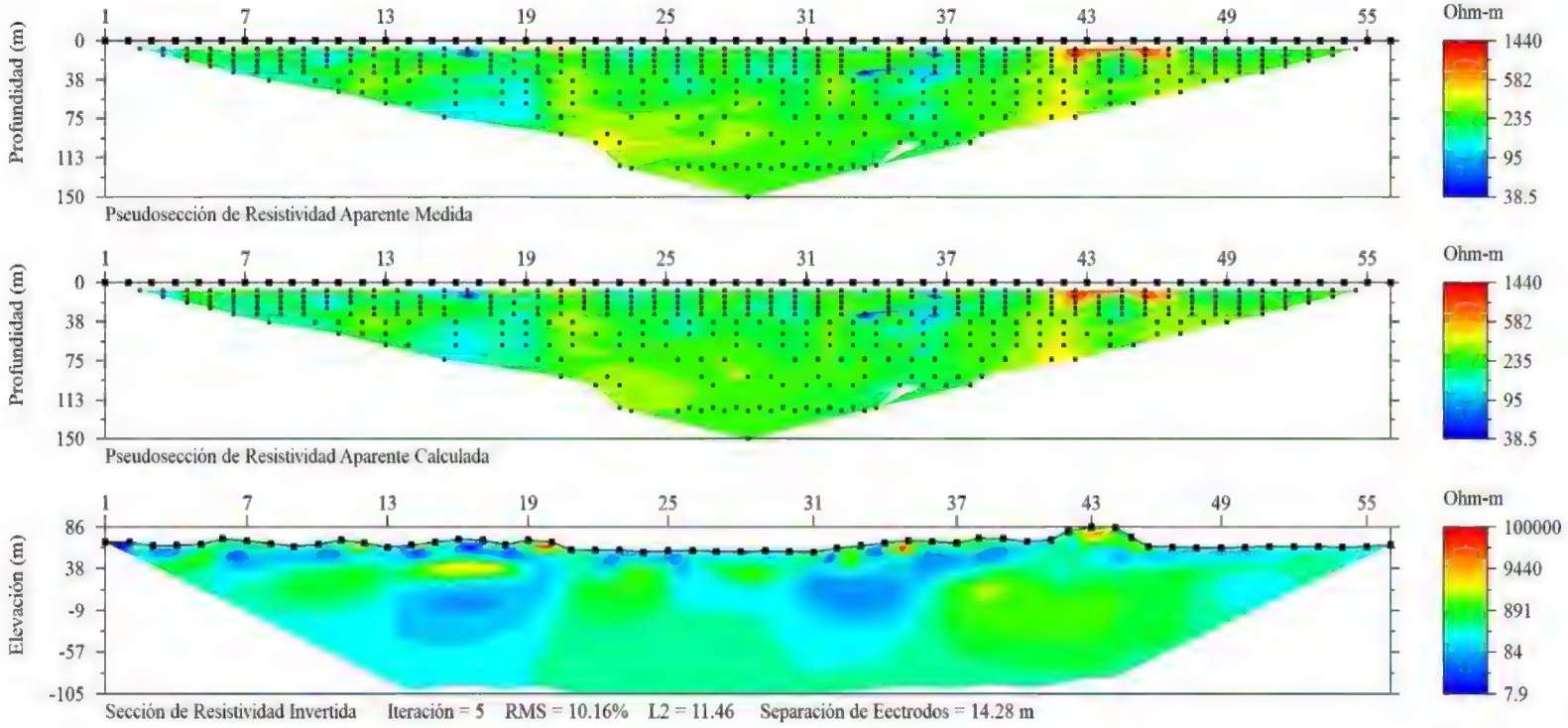
ANEXO II.

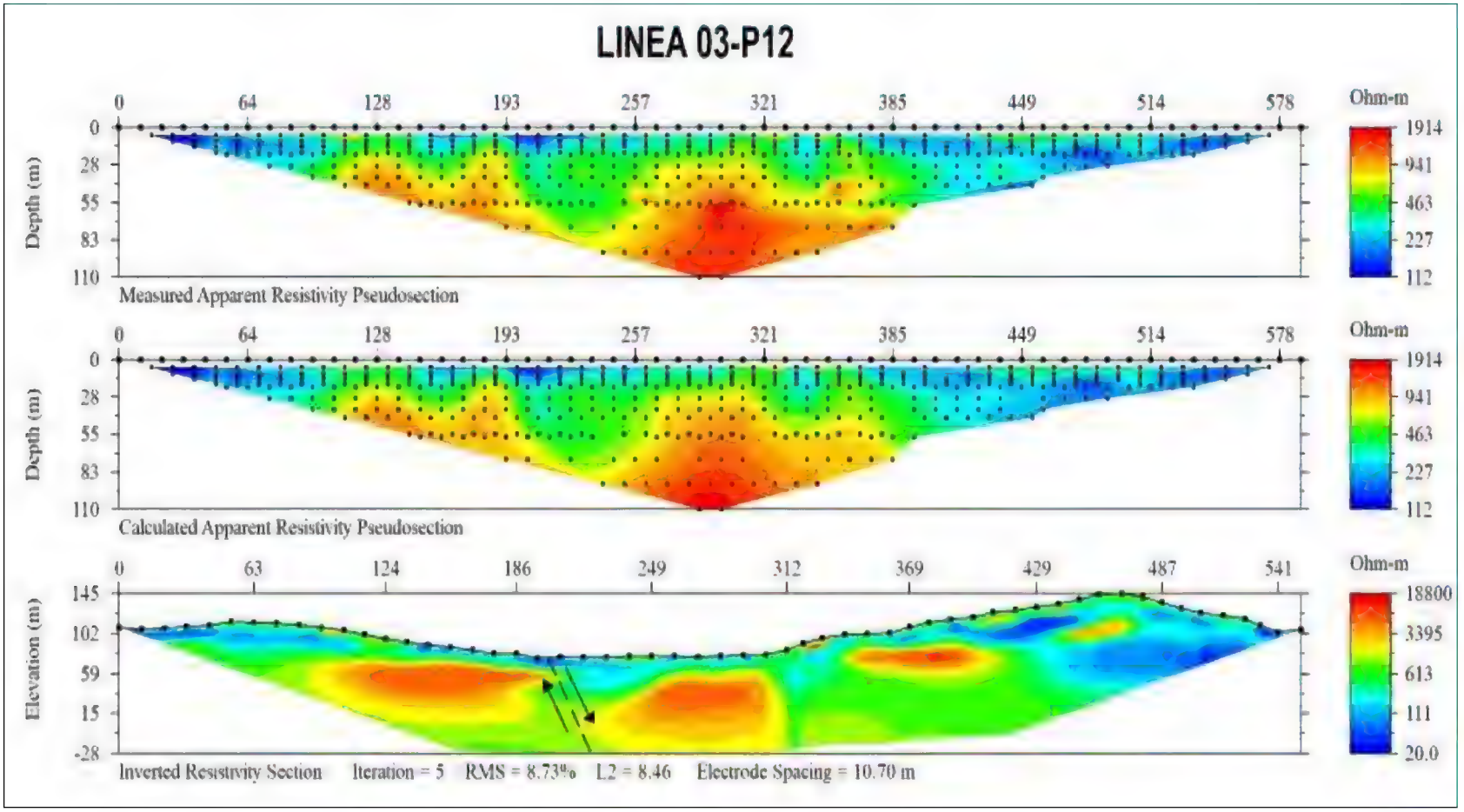
Resultados de Geoeléctrica Continúa evidenciando las Resistividades Aparentes, calculadas y reales, en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.
Municipio de Donoso. Provincia de Colón. Panamá



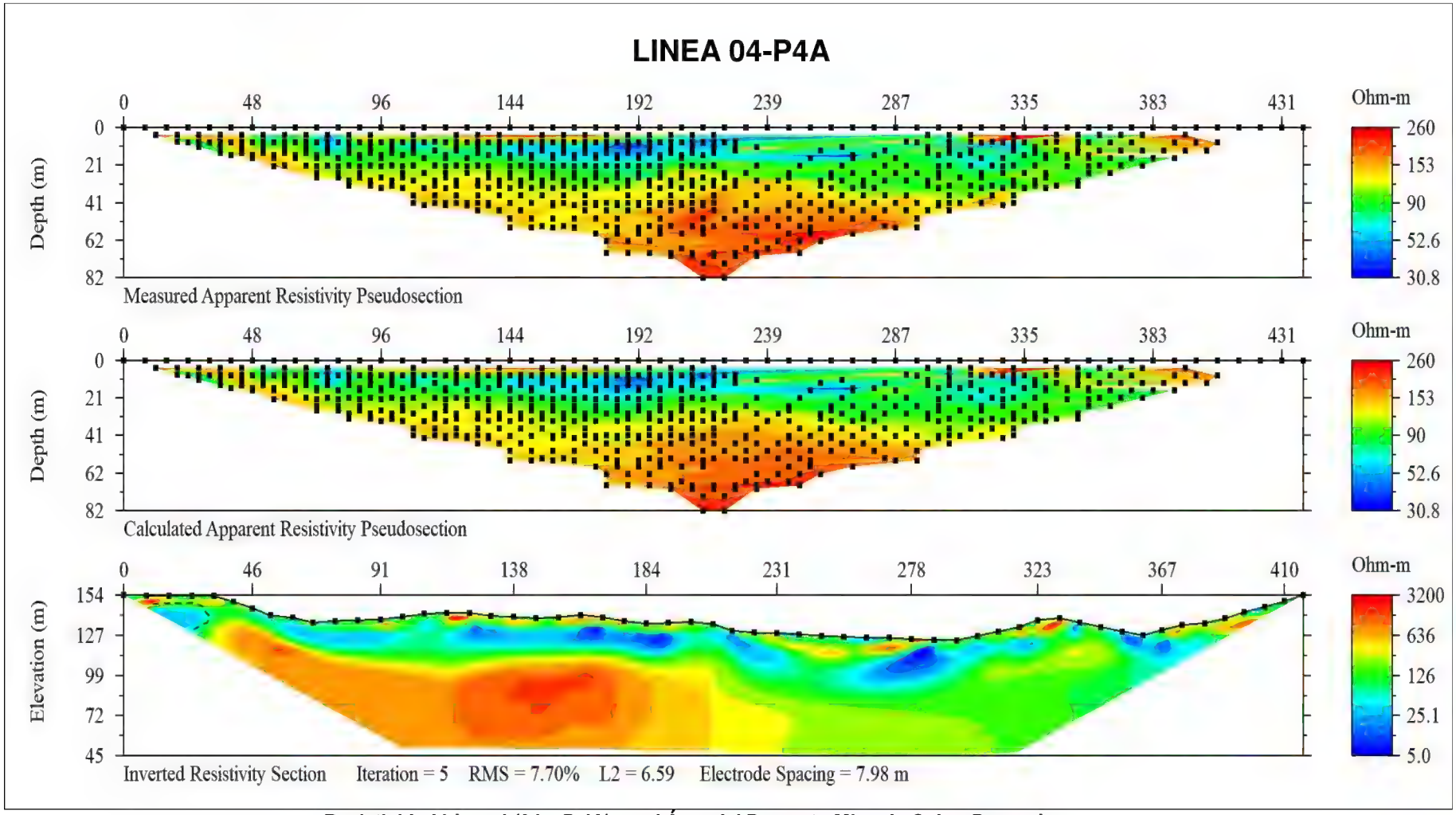
Resistividad de la Línea 1 (01-G) levantada Cerca a la Garita de Campo Dorado en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

LINEA 02-T17

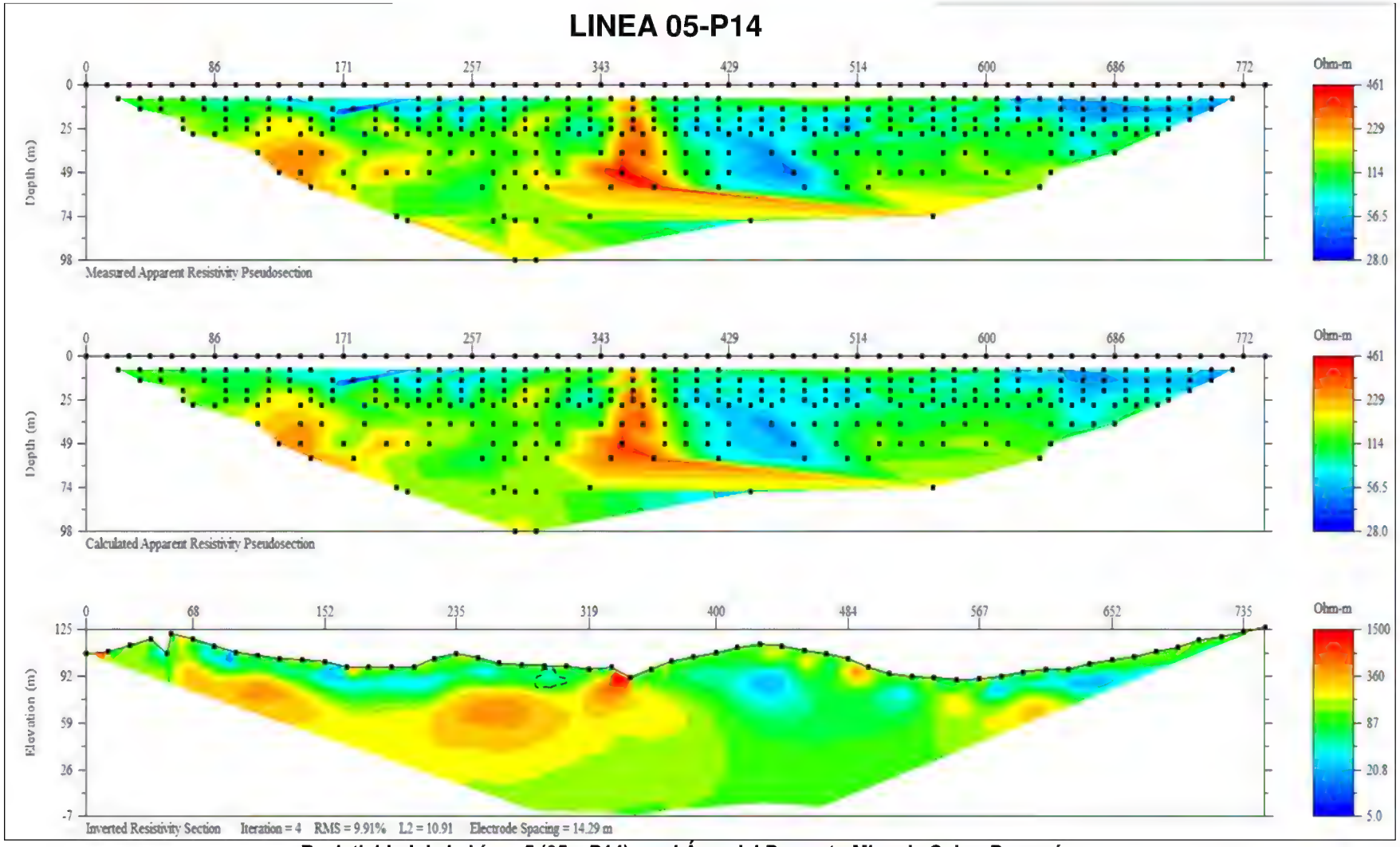

Profundidad (m)
1 7 13 19 25 31 37 43 49 55
0 38 75 113 150
Ohm-m
1440 582 235 95 38.5
Pseudosección de Resistividad Aparente Medida
Profundidad (m)
1 7 13 19 25 31 37 43 49 55
0 38 75 113 150
Ohm-m
1440 582 235 95 38.5
Pseudosección de Resistividad Aparente Calculada
Elevación (m)
1 7 13 19 25 31 37 43 49 55
86 38 -9 -57 -105
Ohm-m
100000 9440 891 84 7.9
Sección de Resistividad Invertida Iteración = 5 RMS = 10.16% L2 = 11.46 Separación de Eectrodos = 14.28 m



Resistividad de la Línea 3 (03 – P12) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

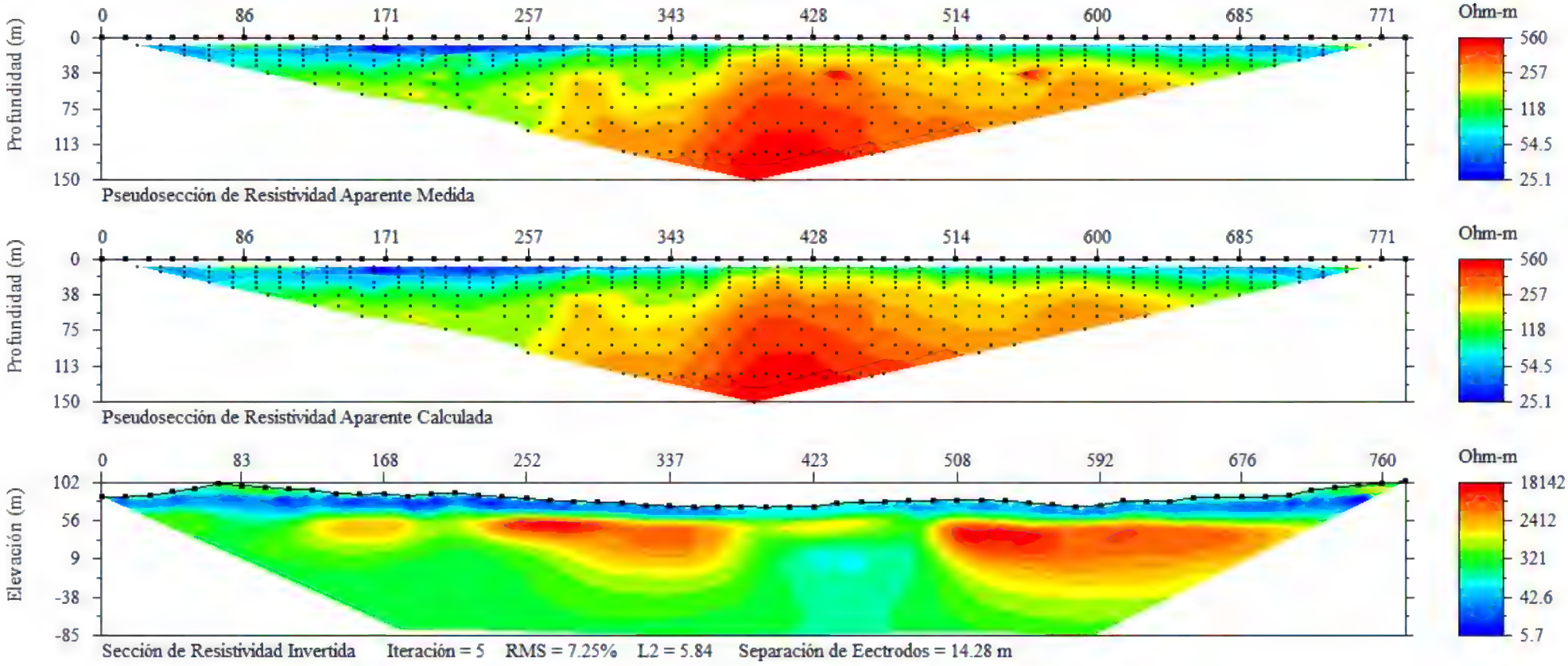


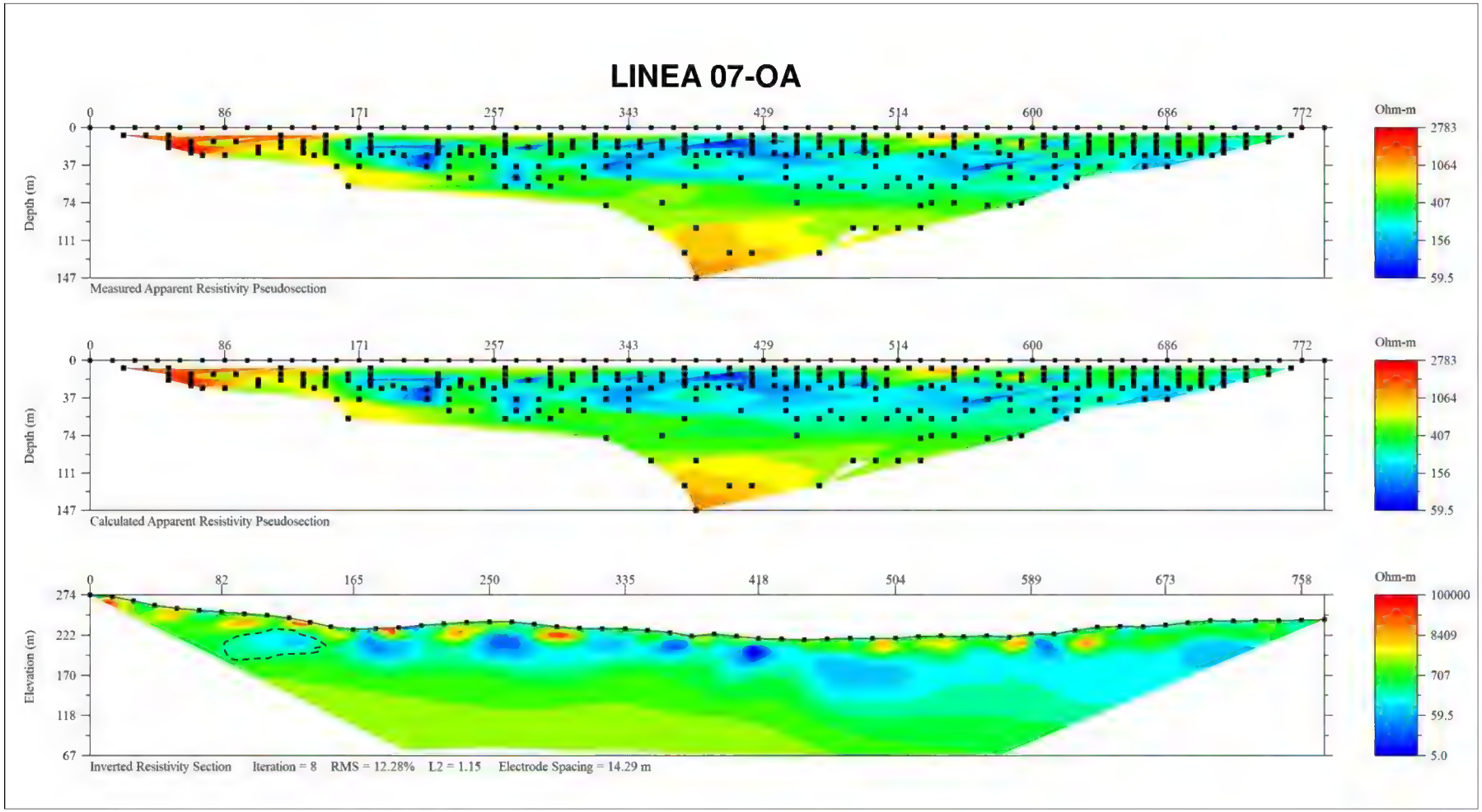
Resistividad Línea 4 (04 – P 4A) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.


LINEA 05-P14
Depth (m)
Measured Apparent Resistivity Pseudosection
Calculated Apparent Resistivity Pseudosection
Elevation (m)
Inverted Resistivity Section Iteration = 4 RMS = 9.91% L2 = 10.91 Electrode Spacing = 14.29 m
Ohm-m

Resistividad de la Línea 5 (05 – P14) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

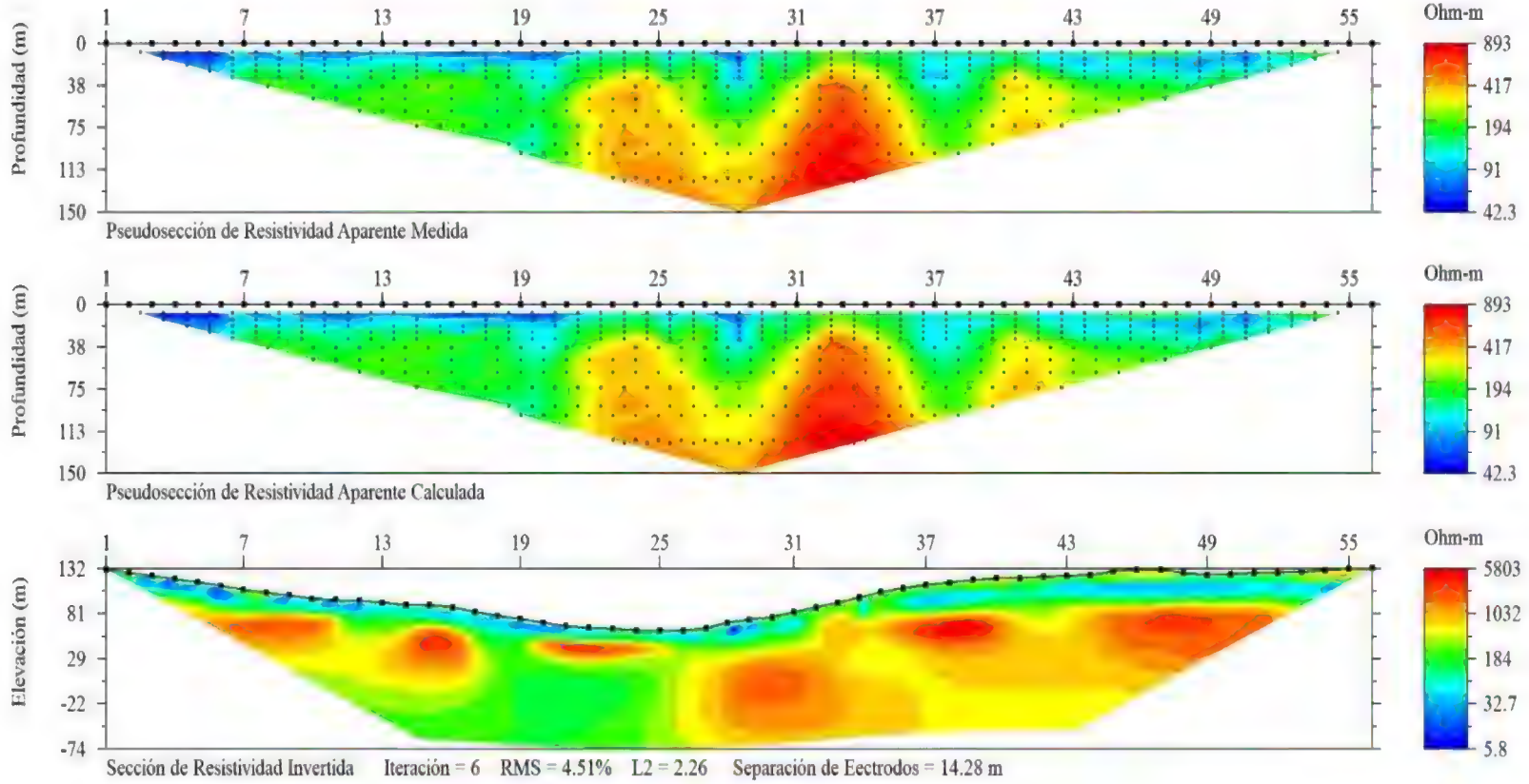
LINEA 06 -12


Profundidad (m)
0
38
75
113
150
0
86
171
257
343
428
514
600
685
771
Ohm-m
560
257
118
54.5
25.1
Pseudosección de Resistividad Aparente Medida
Profundidad (m)
Pseudosección de Resistividad Aparente Calculada
Elevación (m)
102
56
9
-38
-85
0
83
168
252
337
423
508
592
676
760
18142
2412
321
42.6
5.7
Sección de Resistividad Invertida
Iteración = 5
RMS = 7.25%
L2 = 5.84
Separación de Eectrodos = 14.28 m

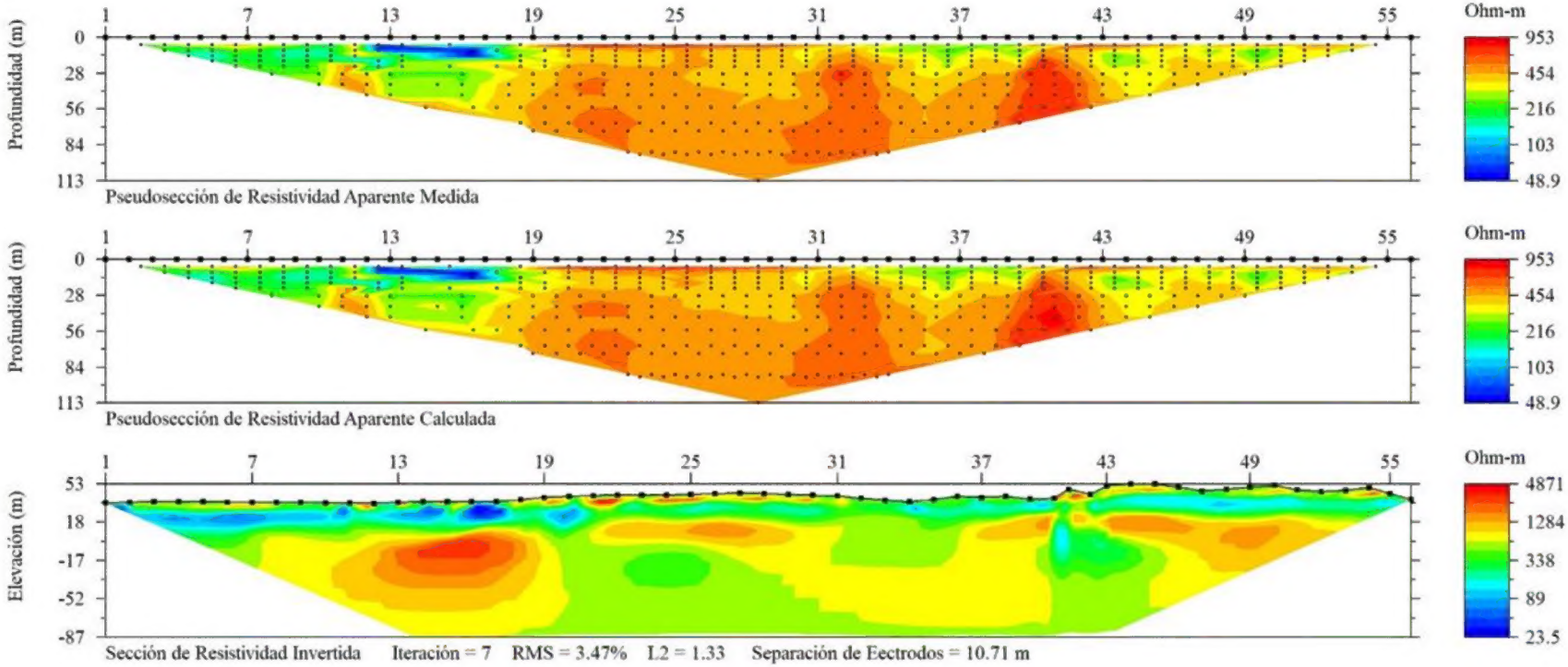


Resistividad de la Línea 7 (07 – OA) en el Área del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

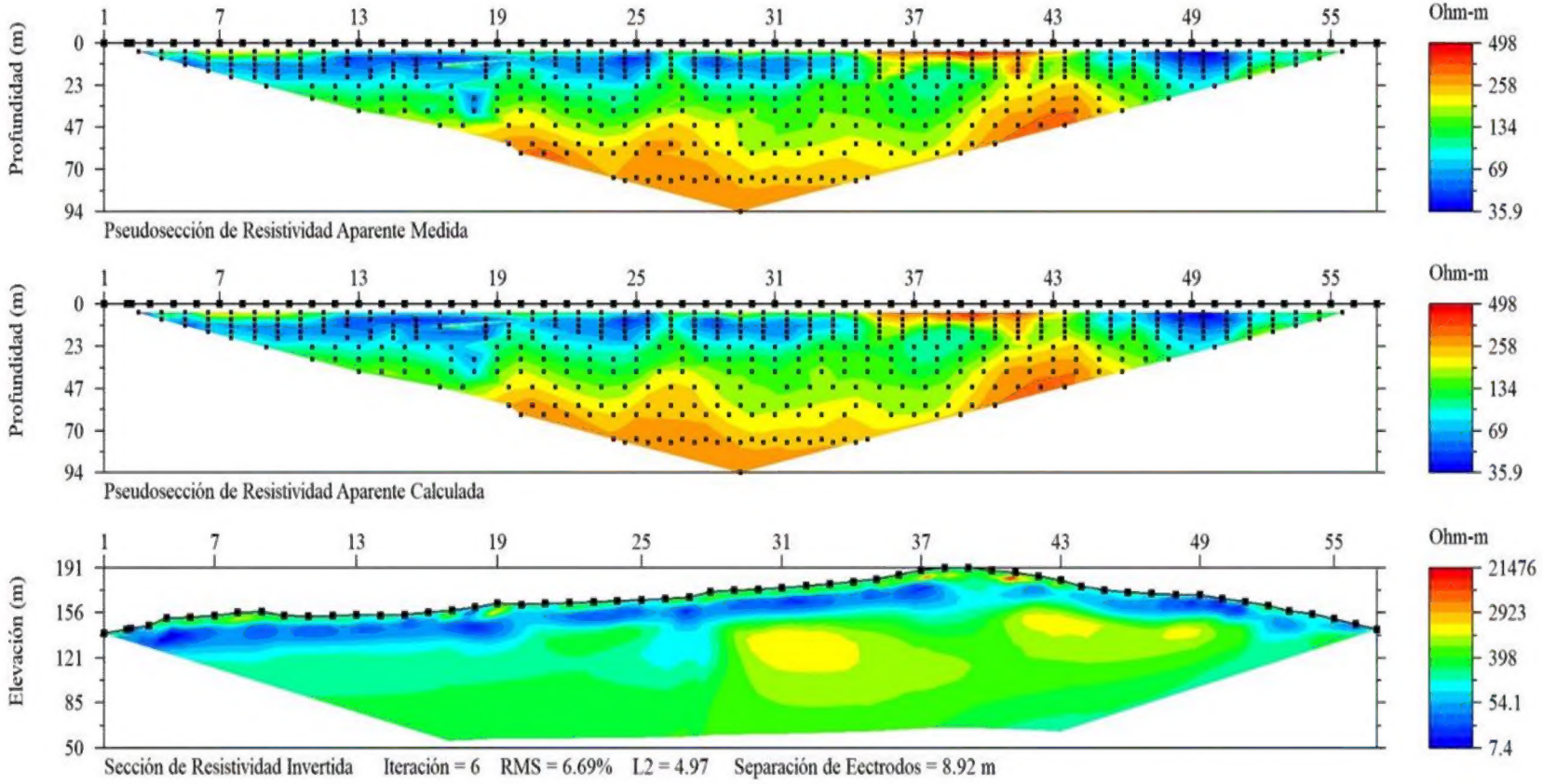
LINEA 08 –TMF01



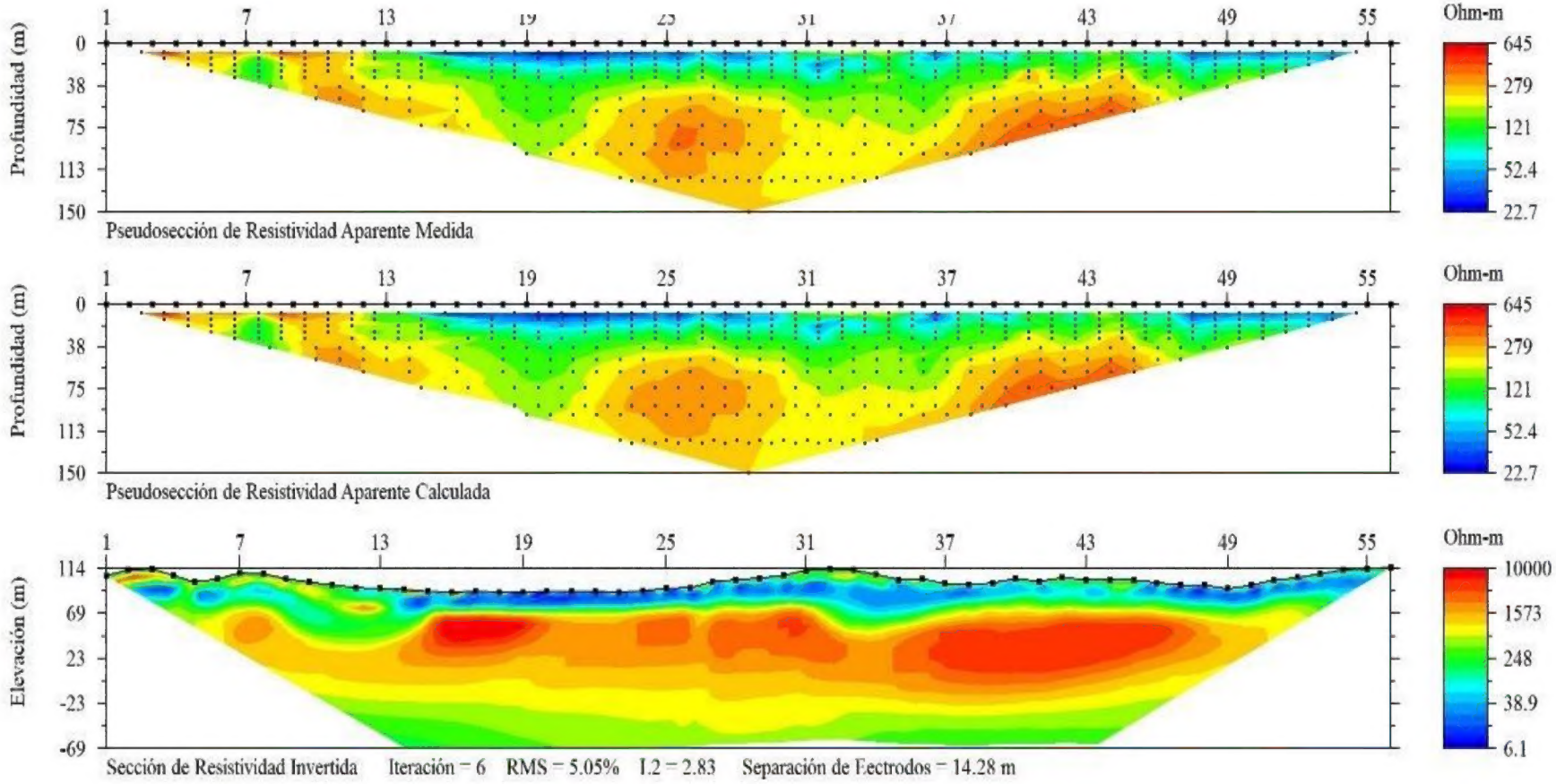
LINEA 09 –TMF02



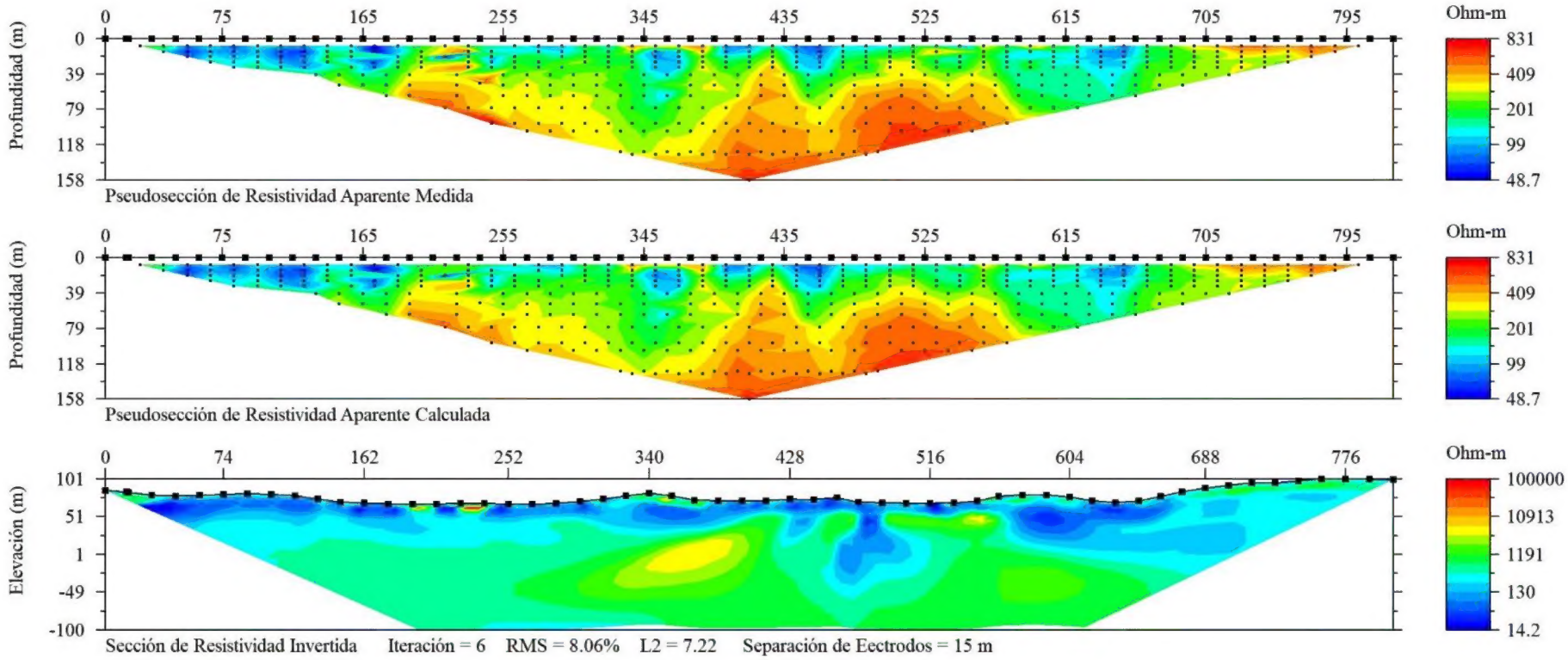
LINEA 10 –PA


Profundidad (m)
1 7 13 19 25 31 37 43 49 55
0 23 47 70 94
Ohm-m
498 258 134 69 35.9
Pseudosección de Resistividad Aparente Medida
Profundidad (m)
1 7 13 19 25 31 37 43 49 55
0 23 47 70 94
Ohm-m
498 258 134 69 35.9
Pseudosección de Resistividad Aparente Calculada
Elevación (m)
1 7 13 19 25 31 37 43 49 55
191 156 121 85 50
Ohm-m
21476 2923 398 54.1 7.4
Sección de Resistividad Invertida Iteración = 6 RMS = 6.69% L2 = 4.97 Separación de Eectrodos = 8.92 m

LINEA 11 – 20


Profundidad (m)
0
38
75
113
150
1
7
13
19
25
31
37
43
49
55
Ohm-m
645
279
121
52.4
22.7
Pseudosección de Resistividad Aparente Medida
Pseudosección de Resistividad Aparente Calculada
Elevación (m)
114
69
23
-23
-69
10000
1573
248
38.9
6.1
Sección de Resistividad Invertida Iteración = 6 RMS = 5.05% L2 = 2.83 Separación de Electrodos = 14.28 m

LINEA 12– SBN


Profundidad (m)
0
39
79
118
158
0
75
165
255
345
435
525
615
705
795
Ohm-m
831
409
201
99
48.7
Pseudosección de Resistividad Aparente Medida
Profundidad (m)
Pseudosección de Resistividad Aparente Calculada
Elevación (m)
101
51
1
-49
-100
0
74
162
252
340
428
516
604
688
776
100000
10913
1191
130
14.2
Sección de Resistividad Invertida
Iteración = 6
RMS = 8.06%
L2 = 7.22
Separación de Eectrodos = 15 m